

**VŠB - Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**

# **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

2010

Václav Kubíček

**VŠB - Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
Katedra měřicí a řídicí techniky

Vícekanálová inteligentní nabíječka NiMH/LiPol Baterií  
Multichannel Intelligent Charter for NiMH/LiPol Batteries

2010

Václav Kubíček

## Zadání bakalářské práce

Student:

**Václav Kubíček**

Studijní program:

B2645 Elektrotechnika, sdělovací a výpočetní technika

Studijní obor:

2612R041 Řídicí a informační systémy

Téma:

Řídicí systém vícekanálové inteligentní nabíječky NiMH/LiPol Baterií

Control System of Multichanel Intelligent charger for NiMH/LiPol  
Batteries

Zásady pro vypracování:

1. Dobíjecí zdroje energie.
2. Metody nabíjení NiMh a LiPol článků (vyvažování).
3. Návrh konstrukce.
4. Návrh a realizace řídicího systému dobíjení.
5. Oživení zařízení.
6. Zhodnocení dosažených výsledků.

Seznam doporučené odborné literatury:

1. ANDREÁŠ, M. - RUČKA, M. Nabíječky a nabíjení . 3. vyd. [s.l.] : BEN - technická literatura, 2002. 112 s. ISBN 80-86056-61-9.
2. Katalogové listy výrobce: [www.freescale.com](http://www.freescale.com) .

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jiří Kotzian, Ph.D.**

Datum zadání: 20.11.2009

Datum odevzdání: 07.05.2010



doc. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.  
vedoucí katedry



prof. Ing. Ivo Vondrák, CSc.  
děkan fakulty

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně.

Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

.....  
Václav Kubíček

Datum odevzdání bakalářské práce: 7. 5. 2010

## Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Jiřímu Kotzianovi, Ph.D. za odborné konzultace a rady, které mi pomohly při vypracování této práce. Dále panu Bc. Mariánu Kurucovi, konstruktéru modulu správy napájení, za pomoc při aplikaci nabíječky do průzkumného vozidla.

## **Abstrakt**

Bakalářská práce se zabývá návrhem a vypracováním integrované inteligentní nabíječky pro průzkumné vozidlo napájené Li-Pol baterií. Nabíječka je schopna po připojení nabíjecího napětí sama vyhodnotit stav nabíjení, v jeho průběhu provádět balancování článků baterie a také vyhodnotit stav nabíjení a ukončit nabíjení. Nabíječka je schopna nabíjet i „měkkým“ zdrojem nabíjecího napětí. Do budoucna je tedy možné průzkumné vozidlo opatřit obnovitelným zdrojem energie, například fotovoltaickými články. Pro řízení nabíječky je použit modul správy napájení s mikrokontrolerem HCS12 od firmy Freescale Semiconductor.

V práci je popsán návrh nabíjecího modulu, jeho konstrukce a vývoj programu pro mikrokontroler.

## **Klíčová slova**

Akumulátor, Baterie, Nabíječka, Balancer

## **Abstract**

This bachelor thesis deals with the project and construction of an integrated intelligent charger for an explorer vehicle that is powered by a Li-Pol battery. After being connected to the power source the charger is able to analyze the state of charging, carry out the balancing of the battery cells in-process, and also to evaluate the “charged” state and finish charging. The charger is able to charge using a “soft” power source therefore it would be possible in the future to supply the explorer vehicle with a renewable power source, e.g. photovoltaic cells. Power management module with Freescale Semiconductor HCS12 microcontroller is used to control the charger.

In the thesis there is the description of projecting of the charging module and its construction and development of the program for the microcontroller.

## **Keywords**

Accumulator, Battery, Charger, Balancer

## Obsah

1	Úvod.....	1
2	ELEKTRICKÉ AKUMULÁTORY OBECNĚ.....	2
2.1	Definice.....	2
2.2	Rozdělení elektrických akumulátorů.....	2
2.3	Hermetické akumulátory.....	2
2.3.1	Definice.....	2
2.3.2	Rozdělení hermetických akumulátorů.....	3
2.4	Pojmy a definice.....	3
2.4.1	Kapacita akumulátoru (C).....	3
2.4.2	Napětí akumulátoru (U).....	3
2.4.3	Nabíjecí proud.....	4
2.4.4	Konečný nabíjecí proud.....	4
2.4.5	Vybíjecí proud.....	4
2.4.6	Konečné napětí (konečné vybíjecí napětí).....	5
2.4.7	Paměťový efekt.....	5
2.5	Srovnání základních vlastností akumulátorů.....	5
3	NiMH AKUMULÁTORY.....	7
3.1	Historie.....	7
3.2	Princip.....	7
3.3	Základní charakteristiky.....	8
3.3.1	Hlavní přednosti hermetických NiMH akumulátorů.....	8
3.3.2	Nevýhody NiMH akumulátorů.....	8
4	LITHIOVÉ AKUMULÁTORY.....	9
4.1	Historie.....	9
4.2	Li-Ion AKUMULÁTORY.....	10
4.2.1	Princip.....	10
4.3	Li-Pol AKUMULÁTORY.....	10
4.3.1	Konstrukce Li-Pol akumulátorů.....	11
4.4	Základní charakteristiky lithiových akumulátorů.....	11
4.4.1	Hlavní přednosti hermetických lithiových akumulátorů.....	11
4.4.2	Nevýhody hermetických lithiových akumulátorů.....	11
5	NABÍJENÍ HERMETICKÝCH AKUMULÁTORŮ.....	13
5.1	Proudové nabíjení.....	13
5.1.1	Normální nabíjení.....	13
5.1.2	Zrychlené nabíjení.....	13
5.1.3	Rychlé nabíjení.....	14
5.1.4	Velmi rychlé nabíjení.....	14
5.1.5	Trvalé dobíjení.....	14
5.1.6	Konzervační proud, konzervační dobíjení.....	14
5.2	Napětíové nabíjení.....	14

5.3	Nabíjecí metody hermetických akumulátorů .....	14
5.3.1	Ukončení časové .....	14
5.3.2	Ukončení napěťové .....	15
5.3.3	Ukončení teplotní .....	16
5.3.4	Ukončení proudové .....	17
5.4	Nabíjení hermetických NiMH akumulátorů.....	17
5.5	Nabíjení lithiových akumulátorů.....	18
6	Balancování a jeho metody .....	20
6.1	Balancování v průběhu celého nabíjení .....	20
6.2	Balancování na konci nabíjení .....	20
7	Popis vozidla.....	21
7.1	Účel vozidla .....	21
7.2	Požadavky na zařízení související s touto prací .....	21
7.3	Vliv konstrukce vozidla na konstrukci nabíjecího modulu. ....	21
8	Návrh nabíjecího modulu.....	22
8.1	Zařazení do projektu .....	22
8.2	Princip nabíjení .....	22
8.3	Požadavky na výkonovou část .....	23
8.3.1	Požadavky na řídicí část nabíjecího proudu .....	23
8.3.2	Požadavky na balancovací část .....	23
8.4	Požadavky na měřicí část.....	24
8.5	Požadavky na obslužnou programovou část .....	24
9	Návrh a výroba desky plošného spoje.....	25
9.1	Schéma zapojení napájecí části pro operační zesilovače .....	25
9.2	Návrh a schéma zapojení pro řízení nabíjecího proudu .....	26
9.3	Návrh a schéma zapojení měřicí části: .....	27
9.4	Návrh a schéma zapojení balancovací části: .....	27
9.5	Výroba desky plošného spoje.....	28
9.6	Osazení desky součástkami a oživení .....	29
10	Návrh, vývojový diagram a popis programu.....	30
10.1	Návaznost na program řízení spotřeby energie .....	30
10.2	Návrh programu a vývojového diagramu.....	30
10.3	Základní vývojový diagram testovacího programu.....	31
10.4	Vývoj programu .....	31
10.5	Vývoj a testování nabíjecí funkce Charger .....	32
10.6	Výsledky nabíjení .....	32
11	Závěr .....	34

# 1 Úvod

Bakalářská práce se zabývá nabíjením zdroje elektrické energie pro mobilní robotické zařízení - průzkumné vozidlo. Vozidlo je určeno k průzkumu prostředí v nepřístupných prostorách. Řídicí systém vozidla je modulární distribuovaný řídicí systém, napájený baterií. Systém však neobsahuje nabíjecí část. Jedním z modulů je modul správy napájení s mikrokontrolerem HCS12 od firmy Freescale Semiconductor, který byl připraven pro dodatečné připojení modulu k řízení nabíjení.

Cílem této práce je vytvoření přídavného modulu pro řízení nabíjecího proudu, měření napětí jednotlivých článků a balancování baterie. Dále naprogramování funkce pro mikrokontroler modulu správy napájení. Nabíjecí modul musí být schopen nabíjet nejen z „tvrdého“ zdroje proudu, ale i napájením z pomocných, například obnovitelných, zdrojů energie. Modul má omezené vnější rozměry, dané konstrukcí vozidla.

V druhé kapitole je obecný popis akumulátorů, jejich definice, rozdělení, vysvětlení základních pojmů týkajících se akumulátorů a nabíjení, a porovnání základních vlastností akumulátorů běžně používaných v technické praxi.

Kapitoly tři a čtyři se zabývají Ni-MH a lithiovými akumulátory. U jednotlivých typů je popsán princip, přednosti a nedostatky akumulátorů.

V kapitole pět jsou popsány typy nabíjení a jejich ukončení. Dále je popsáno nabíjení Ni-MH a lithiových akumulátorů.

Kapitola šest vysvětluje důvody balancování baterií a metody balancování.

Následující kapitola popisuje účel vozidla, požadavky na vozidlo související s touto prací a omezení nabíjecího modulu konstrukcí vozidla.

Kapitola osm popisuje zařazení do projektu, princip nabíjení a požadavky na výkonovou, měřicí a obslužnou programovou část.

Kapitola devět obsahuje návrh a výrobu desky plošného spoje, popis jednotlivých částí obvodu, leptání a osazování plošného spoje.

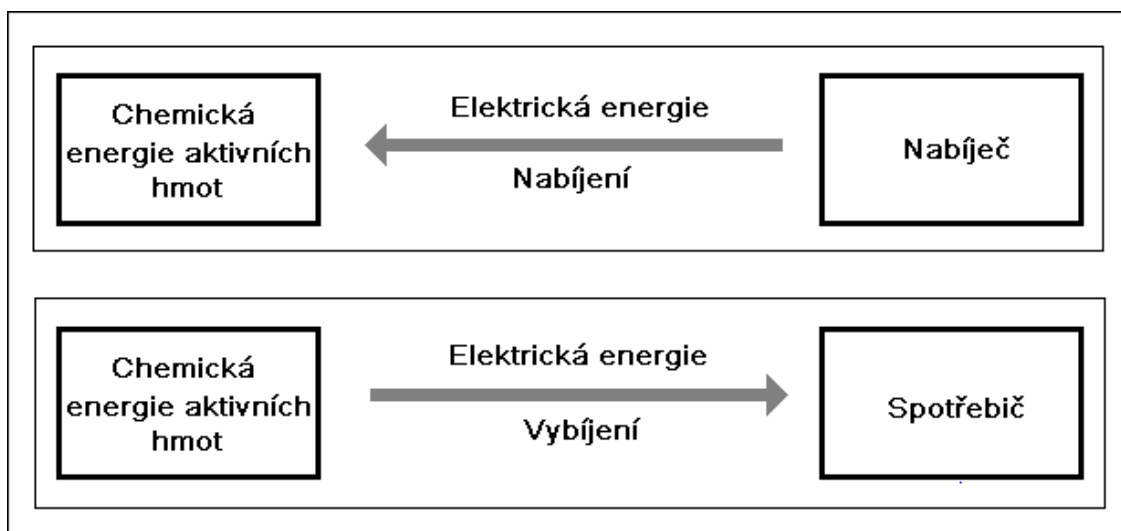
V kapitole deset je popsána programová návaznost na modul správy napájení, návrh programu a vývojový diagram.



## 2 ELEKTRICKÉ AKUMULÁTORY OBECNĚ

### 2.1 Definice

Elektrické akumulátory jsou chemické zdroje elektrické energie, které jsou v průběhu nabíjení schopné přijímat elektrickou energii z vnějšího zdroje a ukládat ji (akumulovat) ve svých elektrodách jako energii chemickou (změnou chemického složení elektrochemicky aktivních složek elektrod). Při vybíjení dodává akumulátor elektrickou energii do spotřebiče. Přitom se opět mění chemické složení aktivních složek elektrod – chemická energie v nich akumulovaná se mění na energii elektrickou (Obr. 1). Hlavními funkčními částmi elektrických akumulátorů jsou kladná a záporná elektroda, elektrolytový systém tvořený elektrolytem a separátory a obal (nádobu) akumulátoru včetně proudových vývodů elektrod.



Obr. 1 Schematické zobrazení funkce akumulátoru

### 2.2 Rozdělení elektrických akumulátorů

Elektrické akumulátory je možné dělit podle celé řady hledisek. Nejzákladnější je dělení podle typu elektrolytu na akumulátory s kyselým, s alkalickým a s bezvodým elektrolytem, podle provedení pak na otevřené a uzavřené plynotěsné akumulátory. Vzhledem k celkovému zaměření této práce bude nadále věnována pozornost pouze uzavřeným plynotěsným (hermetickým) akumulátorům s alkalickým či jiným nekyselým elektrolytem.

### 2.3 Hermetické akumulátory

#### 2.3.1 Definice

Uzavřený plynotěsný akumulátorový článek (hermetický akumulátor) je akumulátorový článek, který zůstává uzavřený a neuvolňuje ani plyn ani kapalinu, je-li provozován v mezích nabíjecích

a teplotních podmínek stanovených výrobcem. Článek může být vybaven bezpečnostním prvkem, který ho chrání před nebezpečným vnitřním tlakem. Článek nevyžaduje doplňování elektrolytu a je konstruován pro provoz po celou dobu životnosti ve svém původním uzavřeném plynotěsném stavu.

### 2.3.2 Rozdělení hermetických akumulátorů

Hermetické akumulátory se běžně rozčleňují do následujících skupin podle:

- **tvaru:** válcové, prizmatické, malé prizmatické, diskové (knoflíkové),
- **elektrochemického systému:** niklkadmiové (NiCd), niklmetalhydridové (NiMH) – někdy značené jako nikl-kovový hydrid, Li-Ion akumulátory, Li-akumulátory s polovodivým elektrolytem.

## 2.4 Pojmy a definice

### 2.4.1 Kapacita akumulátoru (C)

**Kapacita akumulátoru** je množství elektrického náboje, které může tento článek dodat při vybíjení. Její velikost se udává v ampérhodinách (Ah) nebo v miliampérhodinách (mAh). Je třeba rozlišovat skutečnou a jmenovitou kapacitu.

**Jmenovitá kapacita** ( $C_5$ ) je hodnota udaná výrobcem a odpovídá kapacitě, kterou může samostatný čerstvý článek dodat při pětihodinovém vybíjení do daného konečného vybíjecího napětí (u NiCd a NiMH je to 1,0 V) při 20°C po nabíjení, skladování a vybíjení za podmínek stanovených normou platnou pro daný typ akumulátoru. V nově vydaných normách je pojem „jmenovitá kapacita“ nahrazován pojmem „zaručená kapacita“ ( $C_n$ ), kde  $n$  označuje počet hodin vybíjení, při nich je kapacita měřena.

U hermetických akumulátorů se ve většině případů měří kapacita při pětihodinovém vybíjení, ale například u olověných akumulátorů je to většinou při dvacetihodinovém vybíjení.

**Skutečná** (aktuální) **kapacita** je hodnota kapacity naměřená za daných konkrétních podmínek a může se měnit v závislosti na stáří akumulátoru, podmínkách nabíjení, velikosti vybíjecího proudu, konečném vybíjecím napětí, teplotě a závisí na mnoha dalších faktorech.

### 2.4.2 Napětí akumulátoru (U)

Opět je třeba rozlišovat napětí akumulátoru **jmenovité** a **skutečné**.

**Jmenovité napětí** akumulátoru je stanoveno normou a bývá uváděno na výrobku. Jeho velikost je přibližně rovná průměrnému napětí při vybíjení za standardních podmínek. Jmenovité napětí NiCd a NiMH akumulátorového článku je 1,2 V, u Li-Ion akumulátorového článku je 3,6 V.

**Skutečné napětí** je napětí naměřené na svorkách akumulátoru. Jeho velikost se mění v závislosti na teplotě, stavu nabití akumulátoru, na směru a velikosti protékajícího proudu a na celé řadě dalších faktorů.

Pokud je měřeno napětí nezátíženého akumulátoru, jedná se o **napětí naprázdno**. Toto napětí musí být měřeno s velmi malou spotřebou (s velkým vnitřním odporem měřicího přístroje).

Závislost napětí akumulátoru na množství náboje dodaného v průběhu nabíjení je zobrazena tzv. **nabíjecími křivkami**, průběh napětí při vybíjení akumulátoru (závislost napětí na množství odebraného náboje) je zobrazena pomocí tzv. **vybíjecích křivek**. U některých typů akumulátorů

je výrobcem stanoveno **maximální** (nejvyšší povolené) **nabíjecí napětí**, které nesmí být v žádném případě překročeno. Při vybíjení akumulátorů nesmí být akumulátor vybit na nižší napětí, než je **minimální** (nejnižší povolené) **vybíjecí napětí**. Přestoupení obou výše uvedených mezních hodnot může mít za následek trvalé zničení akumulátoru. Podrobnosti budou uvedeny při popisu jednotlivých typů akumulátorů.

### 2.4.3 Nabíjecí proud

Stejnoseměrný proud protékající akumulátorem při nabíjení je tzv. **nabíjecí proud**. Ten může být buď konstantní v průběhu celého nabíjecího procesu, nebo proměnný, a to buď periodicky (např. pulzní), nebo postupně (nepravidelně) se měnící. Pro správné určení náboje dodaného akumulátoru při nabíjení a správné nastavení nabíjecího proudu je rozhodující jeho **střední hodnota**. Proto je třeba pro měření velikosti nabíjecího proudu používat měřicí přístroje udávající střední velikost měřené veličiny. Vhodné jsou například přístroje s magnetoelektrickým měřicím ústrojím. Velké opatrnosti je třeba dbát při aplikaci elektronických měřicích přístrojů, které nemusí udávat efektivní nebo maximální hodnotu měřené veličiny a tím může docházet ke značným chybám, zvláště při měření pulzních proudů nebo stejnosměrných proudů s transponovanou střídavou složkou.

Velikost nabíjecího proudu je možné udávat buď jako jeho absolutní hodnotu v mA, nebo A, ale běžně je možno se setkat s jeho vyjádřením jako násobku jmenovité kapacity.

Například proud 2 a používaný k nabíjení článku se jmenovitou kapacitou 4 Ah je vyjádřen jako  $C/2$  a nebo  $0,5 C_5 A$ . Podle poslední úpravy norem (ČSN EN 61434) byl zaveden pojem zkušební referenční proud ( $I_t$ ), který se vyjadřuje jako:

$$I_t [A] = C_n [Ah/lh] ,$$

kde:

$C_n$  je zaručená kapacita v Ah,

$n$  je časová základna v hodinách (h), pro kterou je zaručená kapacita deklarována.

Ve starší literatuře je možné se ještě setkat s vyjádřením proudu jako násobku  $I_{10}$ , kde  $I_{10}$  je proud určený pro tzv. desetihodinové vybíjení akumulátoru.

### 2.4.4 Konečný nabíjecí proud

Termín **konečný nabíjecí proud** se používá u lithiových akumulátorů. Je to proud, při kterém je nabíjení článku nebo baterie, prováděné při konstantním napětí stanoveném výrobcem, ukončeno.

### 2.4.5 Vybíjecí proud

Stejnoseměrný proud dodávaný akumulátorem při vybíjení do vnější zátěže je tzv. **vybíjecí proud**. O jeho povaze, měření a vyjadřování platí totéž, co bylo řečeno o nabíjecím proudu.

**Maximální vybíjecí proud** je trvalý vybíjecí proud stanovený výrobcem, který v žádném případě nesmí být překročen (jinak může nastat poškození akumulátoru).

**Špičkový vybíjecí proud** je maximální vybíjecí proud povolený výrobcem po velmi krátkou dobu proudové špičky. Trvání proudové špičky je časově omezeno, např. 0,3 s do poklesu napětí na 0,65 V.

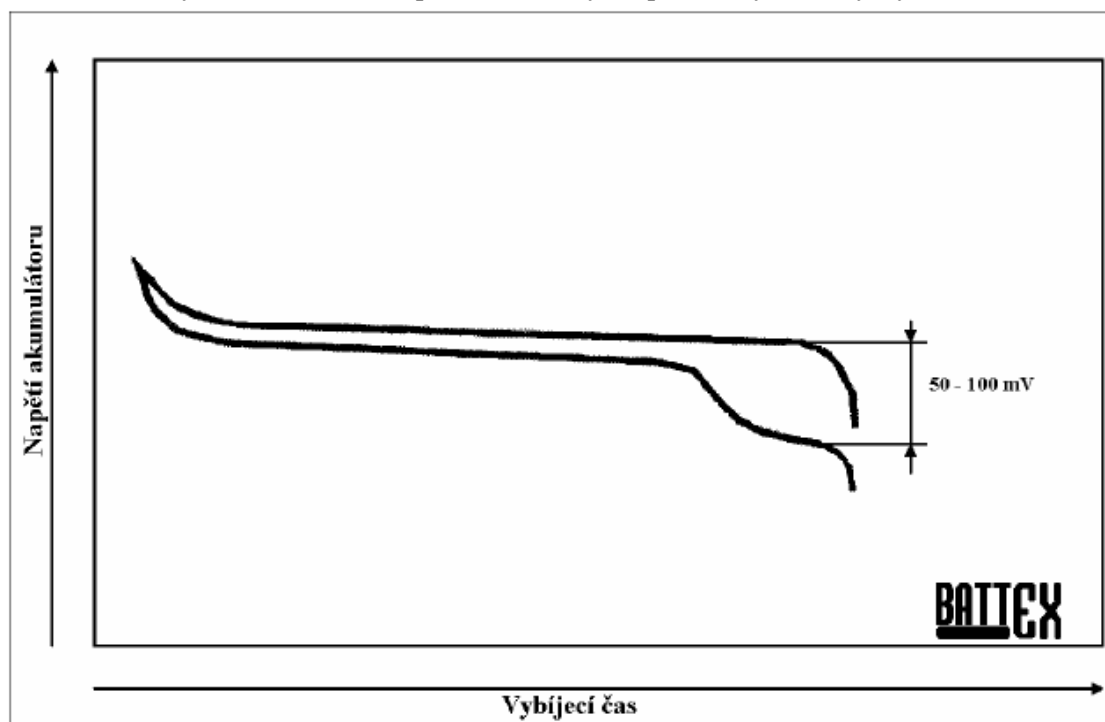
#### 2.4.6 Konečné napětí (konečné vybíjecí napětí)

**Konečné napětí** je předepsané napětí, při kterém se považuje vybíjení článku nebo baterie za ukončené.

#### 2.4.7 Paměťový efekt

**Paměťový efekt** byl poprvé pozorován a popsán v padesátých letech minulého století u NiCd akumulátorů pro kosmické aplikace. Jeho mechanismus byl vysvětlen v první polovině sedmdesátých let. Bohužel je to nejčastěji mylně interpretovaný a neseriózními distributory neoprávněně v konkurenčním boji využívaný pojem.

Tento jev vzniká při opakovaném vybíjení NiCd akumulátorů (min 50 až 100x) na malou, ale vždy stejnou hloubku vybití. Jeho podstatou jsou změny krystalické struktury záporné elektrody. Je to reverzibilní jev snadno odstranitelný plným vybitím akumulátoru. Projevem paměťového efektu je vznik druhého vybíjecího stupně, což je náhlý pokles napětí akumulátorového článku zhruba o 50 až 100 mV (Obr. 2). U akumulátorů, kde kadmium není elektrochemicky aktivní složkou záporné elektrody, se paměťový efekt vyskytovat nemůže.



Obr. 2 Paměťový efekt u NiCd akumulátoru

[1]

## 2.5 Srovnání základních vlastností akumulátorů

V tabulce (Tab. 1) jsou vypsány základní vlastnosti v technické praxi nejpoužívanějších typů akumulátorů. Chybí zde novinka mezi akumulátory LiFePo<sub>4</sub>, která má nižší výrobní náklady

a lepší teplotní stabilitu. Nevýhodou těchto článků je o něco nižší napětí na článek a také nižší hustota energie vzhledem k Li-Pol akumulátorům.

[2]

Akumulátor	Hustota energie (Wh/kg)	Počet nabíjecích cyklů	Samovybití (%/měsíc)	Výhody	Nevýhody
NiCd	50	1000	25	Levné, široký teplotní interval	Jedovaté, paměťový efekt
NiMH	70	700	15	Vyšší kapacita, nejedovaté	Citlivé na vysoké teploty, dražší
Li-Ion	Až 150	500	10	Rychlé nabití, bez paměťového efektu	Drahé, citlivé na přehřátí a přebití
Li-Pol	Až 180	500	10	Velmi lehké, tvarovatelné	Drahé, citlivé na přehřátí a přebití
Pb	10	1000	20	Levné	Bez komentáře
Super kondenzátor	Až 10	1000000	0.01	Až 10 kW/kg, účinnost 98%, sekundové nabití	„Nízká“ kapacita, ale překotný vývoj
RAM	?	20	0.01		

Tab. 1 Srovnání základních vlastností některých akumulátorů

[3]

Pozn.: RAM - alkalický akumulátor.

## 3 NiMH AKUMULÁTORY

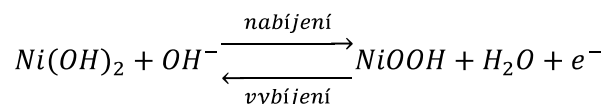
### 3.1 Historie

Intenzivní výzkum a vývoj NiMH akumulátorů byl zahájen v osmdesátých letech minulého století. Hlavním důvodem byly požadavky ekologů na náhradu škodlivého kadmia vhodnějším materiálem. Ke komerčnímu využití došlo v druhé polovině devadesátých let.

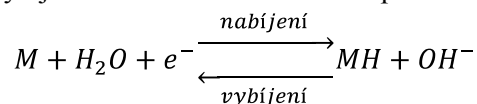
První výrobky měly, jako každá technická novinka, řadu nedostatků. Trpěly hlavně velmi vysokým samovybíjením, zhoršováním funkceschopnosti během skladování a vysokou cenou. Velmi rychle však nastalo zlepšování užitečných vlastností, které dále pokračuje, a NiMH akumulátory se staly běžným výrobkem, především v mobilní technice.

### 3.2 Princip

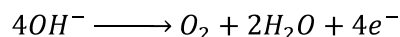
Kladná elektroda NiMH akumulátorů má stejnou konstrukci a stejné složení aktivní hmoty jako kladná elektroda NiCd akumulátorů. To znamená, že rovněž elektrochemické změny probíhající při nabíjení a vybíjení jsou shodné a jsou popsány následující rovnicí:



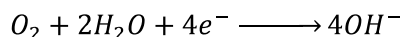
Záporná elektroda obsahuje jako elektrochemicky aktivní látku kovovou slitinu, která je schopná během nabíjení a vybíjení vázat a uvolňovat vodík podle následující rovnice:



V průběhu přebíjení se na kladné elektrodě uvolňuje kyslík dle rovnice:



Akumulátor musí být zhotoven tak, aby po dosažení plného nabití kladné elektrody zůstala část aktivní hmoty záporné elektrody nenabitá. Kyslík vznikající při přebíjení na kladné elektrodě prochází porézním separátorem na zápornou elektrodu, kde je redukován dle rovnice:



Plynný kyslík je takto vázán a současně je oxidována aktivní hmota záporné elektrody. Ta pak nemůže být plně nabitá a nedochází tak na ní k vývinu vodíku v průběhu přebíjení. Tento děj se nazývá rekombinace a umožňuje hermetizaci NiMH akumulátorů.

### **3.3 Základní charakteristiky**

#### **3.3.1 Hlavní přednosti hermetických NiMH akumulátorů**

Ve srovnání s NiCd jsou hlavními přednostmi NiMH akumulátorů větší kapacita získaná z článku shodných rozměrů a menší zátěž pro životní prostředí. Proto našly uplatnění hlavně tam, kde byly dříve používány NiCd akumulátory s velkou měrnou energií.

#### **3.3.2 Nevýhody NiMH akumulátorů**

K nevýhodám NiMH akumulátorů patří:

- menší rozsah klimatických a mechanických odolností,
- větší samovybíjení,
- větší vnitřní impedance - nejsou vhodné pro velmi rychlé nabíjení a extrémně velké vybíjecí proudy,
- vyšší cena ve srovnání s NiCd.

NiMH akumulátory byly uvedeny na trh v relativně nedávné době. Jejich užité parametry jsou průběžně zlepšovány a je předpoklad, že některé jejich negativní vlastnosti budou v brzké době zlepšeny nebo zcela odstraněny. Samovybíjení akumulátorů se dnes již velice blíží hodnotám odpovídajícím NiCd akumulátorům. Podobně se již setkáváme s NiMH akumulátory, které jsou schopny dát vybíjecí proud odpovídající několikanásobku jmenovité kapacity akumulátoru. Rovněž ceny NiMH akumulátorů za poslední roky značně klesly. Oproti NiCd akumulátorům se u NiMH a Li-Ion akumulátorů každoročně objevuje několik novinek nebo desítek novinek, zejména rozměrových typů. Také u nich můžeme sledovat neustálé zvyšování kapacity a zlepšování vlastností.

[1]

## 4 LITHIOVÉ AKUMULÁTORY

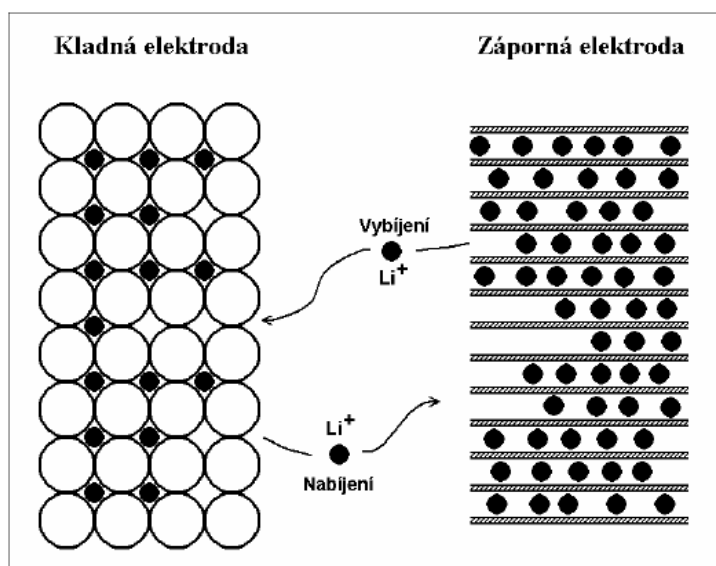
### 4.1 Historie

Primární lithiové články, vynalezené v polovině šedesátých let minulého století, se již od začátku vyznačovaly vysokou měrnou energií a kapacitou, velice nízkým samovybíjením a četnými dalšími příznivými vlastnostmi. Po mnohých pokusech se ukázalo, že jsou výrobitelné i v dobíjecí verzi.

V polovině sedmdesátých let začaly pokusy, kde kladnou elektrodou byly sulfidy kovů a zápornou elektrodou kovové lithium. Výsledky však nebyly uspokojivé, protože docházelo ke korozi a pasivaci elektrod. Dalším problémem bylo, že při nabíjení malým proudem ( $\approx 0,05 \text{ I}_0$ ) mělo lithium tendenci tvořit jehličky, které pak perforovaly separátor a docházelo k vnitřním zkratům akumulátoru, nebo tvořilo vysoce reaktivní houbovitou hmotu o velkém povrchu, která spouštěla nepředvídatelné teplotní pochody.

Na začátku osmdesátých let začaly pokusy s články, kde zápornou elektrodou byly sloučeniny  $\text{LiWO}_2$ ,  $\text{Li}_6\text{Fe}_2\text{O}_3$  nebo  $\text{Li}_9\text{MoSe}_6$  jako zdroj lithiových iontů  $\text{Li}^+$  a kladnou elektrodou sloučeniny titanu, wolframu, niobu, vanadia nebo molybdenu. Výsledky však nebyly uspokojivé, protože články měly nízké napětí (1,8 V, 2,7 V), nízkou kapacitu a energeticky náročnou, komplikovanou nebo drahou výrobu.

Velký pokrok přinesl až 4. Mezinárodní seminář o nabíjecích bateriích, konaný v Deerfield Beach na Floridě v březnu 1990. Tam zástupci firmy SONY představili novou technologii, která využívala jako aktivní materiál pro zápornou elektrodu směs grafitu (uhlíku) obohaceného lithiem a polyolefinů. Možnost elektrochemického vložení iontů  $\text{Li}^+$  do grafitu (interkalace) byla známa již od roku 1975, ale toto bylo první praktické využití.



Obr. 3 Pohyb iontu  $\text{Li}^+$  při nabíjení a vybíjení



Název "Li-Ion akumulátory" pro tento zdroj spojený s vysokým napětím, možností nabíjení a vybíjení, s dlouhou životností, vysokou kapacitou a dobrou bezpečností, zavedl výkonný ředitel firmy SONY Energytec pan K. Tozawa. Název "Ion" je použit díky iontům  $\text{Li}^+$ , které putují při nabíjení z kladné elektrody na zápornou a při vybíjení opačným směrem.

V lednu roku 1991 se již objevuje první komerční aplikace s Li-Ion technologií - mobilní telefon SONY "Handyphone HP-211", který přinesl okamžitý úspěch. O rok později, v září 1992, přichází na trh první videokamera od SONY s Li-Ionovým akumulátorem.

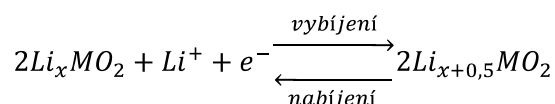
Japonští výrobci využili zkušeností firmy SONY, získali tím velký náskok ve výrobě Li-Ionových akumulátorů a přišli s vlastními verzemi válcových a prizmatických akumulátorů. Ve skutečnosti dominují stále světové produkci.

## 4.2 Li-Ion AKUMULÁTORY

### 4.2.1 Princip

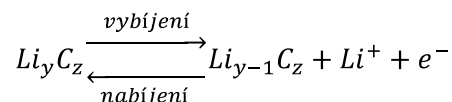
Materiály běžně používané jako aktivní hmoty kladné elektrody jsou dnes  $\text{LiCoO}_2$ ,  $\text{Li}_x\text{Mn}_2\text{O}_4$ ,  $\text{LiNiO}_2$ ,  $\text{LiV}_2\text{O}_5$ , popř. i další. Elektrochemické procesy probíhající při nabíjení a vybíjení lze zjednodušeně vyjádřit následujícími rovnicemi.

Děje na kladné elektrodě:



kde M může být některý z kovů tvořících aktivní sloučeninu kladné elektrody.

Děje na záporné elektrodě:



Jako elektrolyt je v největší míře používán  $\text{LiPF}_6$  rozpuštěný v nepolárním rozpouštědle.

[1]

## 4.3 Li-Pol AKUMULÁTORY

Mezi extrémně perspektivní zdroje v oblasti elektrických pohonů, v současné době alespoň v oblasti "malých" proudů řádově do  $10 \div 40 \text{ A}$ , bezpochyby patří i nové typy lithium polymerových akumulátorů, zejména jejich "tvrdé" varianty označované "HD". Jejich vynikající vlastnosti, jako velmi nízká hmotnost, rozměry, vysoké proudy, vysoká životnost a velké napětí, je přímo předurčují do oblasti modelářských pohonů a aplikací. Pokud se dodržují alespoň základní zásady bezpečnosti provozu, nejsou nebezpečné. Podmínkou úspěchu je vhodná nabíječka a vhodně zvolená kapacita a typ akumulátorů vzhledem k uvažovaným vybíjecím proudům. Výrobce zaručuje vybíjení proudy do 2 až 3 C u standardních typů a u typů značených "HD" proudy do 5 až 8 C, resp. 20 C, dle typu. Baterie lze řadit sérioparalelně. Není

problém složit lehkou baterii dodávající proudy do 40 až 50 A s napětím 20 až 40 V, s kapacitou 6 až 12 Ah.

[4]

#### **4.3.1 Konstrukce Li-Pol akumulátorů**

Kladná plastická elektroda je tvořena kobaltitanem lithným ( $\text{LiCoO}_2$ ), mezi elektrodami je plastický elektrolyt a separátor a záporná elektroda je tvořena uhlíkem.

Články Lithium Polymer jsou ve svém principu v podstatě Li-Ion polymer akumulátory. Je to velmi podobný systém jako Li-Ion, ale na bázi tuhého separátoru a elektrolytu.

[4]

### **4.4 Základní charakteristiky lithiových akumulátorů**

Vzhledem k poměrně krátké době vývoje těchto akumulátorů se jejich vlastnosti neustále zlepšují.

#### **4.4.1 Hlavní přednosti hermetických lithiových akumulátorů**

- vysoké napětí - typické jmenovité napětí 3,6 V oproti napětí 1,2 V u NiCd a NiMH akumulátorů,
- vysoká energie – NiCd 4/3 AF – 2400 mWh (2 000 mAh/1,2 V), NiMH 4/3 AF – 5 400 mWh (4 500 mAh/1,2 V), Li-Ion 4/3 AF – 7 200 mWh (2 000 mAh/3,6 V),
- nízká hmotnost - NiCd 4/3 AF – 45 g, NiMH 4/3 AF – 60 g, Li-Ion 4/3 AF – 40 g,
- nízké samovybíjení - okolo 8 % za měsíc při +20°C oproti 25 % u NiCd a NiMH akumulátorů,
- nemají tzv. paměťový efekt,
- nezávadné pro životní prostředí - neobsahují olovo, rtuť nebo kadmium,
- změna napětí v průběhu vybíjení je větší oproti NiCd nebo NiMH akumulátorům, čímž je dána možnost lepší indikace stavu zbytkové kapacity akumulátoru.

#### **4.4.2 Nevýhody hermetických lithiových akumulátorů**

- nabíjecí proud je ve většině případů omezen na 1,5  $I_L$  - nabíjí se konstantním napětím, plně je akumulátor nabit za 2 až 3 hodiny oproti NiCd akumulátorům, které lze dobít i během 15 minut. Avšak Li-Ion akumulátor lze nabít z 80 až 85 % i do jedné hodiny,
- maximální vybíjecí proud je do 2  $I_L$  - u NiCd i 20  $I_L$ ,
- v průběhu vybíjení dochází k poklesu napětí (viz obr. 21), což je výhodné pro sledování zbytkové kapacity akumulátoru, ale při použití v zařízeních, která potřebují stálý příkon, musí s klesajícím napětím vzrůstat vybíjecí proud,
- velký vnitřní odpor - až 10x větší než u NiCd nebo NiMH,
- pracovní teplota je do -20 (max. -30)°C - u NiCd je to až do -40°C,
- lithiové akumulátory jsou velice náchylné na přebíjení a podvybíjení, proto většina baterií musí obsahovat řídicí elektronické obvody. Při poklesu napětí při vybíjení pod povolenou mez dochází k trvalému zničení akumulátorové baterie,
- nabíječe lithiových akumulátorů nejsou zaměnitelné s nabíječi pro NiCd a NiMH akumulátory. Li-Ion baterie opatřené elektronickým obvodem je však možné nabíjet

nabíječem pro NiCd nebo NiMH akumulátory. Tím je umožněna vzájemná zaměnitelnost těchto zdrojů, např. v mobilních telefonech.

[1]

## 5 NABÍJENÍ HERMETICKÝCH AKUMULÁTORŮ

Proces nabíjení hermetických akumulátorů může být řízen velikostí nabíjecího proudu (proudové nabíjení) nebo velikostí nabíjecího napětí (napětové nabíjení). Proudem řízené nabíjení se převážně používá u NiCd a NiMH hermetických akumulátorů, u Li-Ion a Li-Pol akumulátorů se používá nabíjení napětové.

Nabíjení hermetických akumulátorů má rozhodující vliv na většinu užitných vlastností těchto výrobků, především na jejich životnost. Při překročení mezních hodnot rozhodujících veličin, kterými mohou být velikost nabíjecího proudu nebo napětí, doba nabíjení nebo rozsah povolených teplot pro jednotlivé způsoby nabíjení a typy akumulátorů, může dojít ke zhoršení jeho parametrů či v horším případě k úplnému znehodnocení. Většina moderních nabíječů (pokud jsou použity pro odpovídající akumulátor) zajistí pouze dodržení elektrických veličin potřebných pro správné nabíjení, ale nikoli dodržení teplot povolených pro nabíjení. Nabíjení jak příliš studených, tak příliš teplých akumulátorů může být příčinou jejich zničení. Proto je důležité, aby akumulátory byly před zahájením nabíjení temperovány na doporučenou teplotu, a to po dostatečnou dobu (min. 2 hodiny), aby se vyrovnala i teplota vnitřku elektrodového systému, který je špatně tepelně vodivý. Dále je vhodné, aby bylo zajištěno chlazení akumulátoru v průběhu nabíjení, a to alespoň volným pohybem vzduchu (konvekci) v jeho okolí.

### 5.1 Proudové nabíjení

Pro jednotlivé typy nabíjení je výrobcem stanoven povolený rozsah nabíjecích teplot, který musí být bezpodmínečně dodržen. Čím je nabíjení rychlejší, tím je užší rozsah teplot povolený pro daný typ nabíjení. Normální nabíjení, konzervační a trvalé dobíjení je povoleno u všech typů hermetických NiCd a NiMH akumulátorů. Ostatní způsoby nabíjení je možné použít pouze za podmínek stanovených výrobcem, a to jenom u určených typů akumulátorů. Také velikosti konzervačních a trvalých proudů jsou pro každý typ akumulátoru doporučeny výrobcem.

Dále popíšeme jednotlivé způsoby proudového nabíjení z hlediska rychlosti.

#### 5.1.1 Normální nabíjení

Za normální nabíjení je považováno nabíjení hermetických akumulátorů po dobu 12 až 16 hodin proudem  $0,1 I_c$ . Tento druh nabíjení je určen normou pro zkušební účely, např. pro stanovování jmenovité kapacity akumulátoru. Povolený teplotní rozsah při tomto nabíjení se většinou pohybuje od 0 do  $+50^\circ\text{C}$  pro provozní nabíjení, pro měření kapacity je však normou stanoven užší rozsah teplot, obvykle  $20 \pm 5^\circ\text{C}$ . Normální nabíjení je vhodné použít pro akumulátory po dlouhodobém skladování.

#### 5.1.2 Zrychlené nabíjení

Zrychlené nabíjení je nabíjení v trvání 4 až 8 hodin. Pro 4 až 5hodinové nabíjení se používá nabíjecí proud velikosti  $0,3 I_c$ . Při 7 až 8hodinovém nabíjení je vhodný proud kolem  $0,2 I_c$ . Povolený teplotní rozsah při tomto nabíjení je od  $+5^\circ\text{C}$  většinou do  $+35^\circ\text{C}$ , u 7 až 8hodinového nabíjení bývá povolena horní hranice až  $+50^\circ\text{C}$ .

### 5.1.3 Rychlé nabíjení

Rychlé nabíjení je nabíjení proudem od 0,5 až do 1  $I_t$  v trvání 1 až 2 hodin. U tohoto způsobu je nabíjení povoleno až od teplot nad + 10 až do +40°C. U některých NiMH akumulátorů se můžeme setkat s dolní teplotní hranicí od 0°C, ve speciálních případech i od -5°C. Při rychlém nabíjení se nedoporučuje ukončení nabíjení hlídané časem, ale ukončení teplotní nebo napěťové (viz kapitola 5.3).

### 5.1.4 Velmi rychlé nabíjení

Velmi rychlé nabíjení je nabíjení v trvání 15 minut až jedné hodiny proudem 1 až 4  $I_t$ . Toto nabíjení se používá u NiCd akumulátorů se sintrovanými elektrodami, speciálně určenými pro profesionální akumulátorové nářadí. U nabíječek pro tyto druhy akumulátorů se většinou používají současně tři až čtyři způsoby vyhodnocení ukončení nabíjení.

### 5.1.5 Trvalé dobíjení

Trvalé dobíjení je časově neomezené nabíjení akumulátoru malým proudem, který negativně neovlivňuje vlastnosti akumulátorového článku. Trvalý nabíjecí proud bývá obvykle stanoven výrobcí pro konkrétní typ článku v rozsahu 0,05 až 0,06  $I_t$ . U akumulátorů určených přímo pro trvalé dobíjení odpovídá proud hodnotám až 0,1  $I_t$ , což je vlastně hodnota normálního dobíjení.

### 5.1.6 Konzervační proud, konzervační dobíjení

Konzervační proud je nabíjecí proud, kterým se dlouhodobě udržuje nabitý akumulátor v plně nabitém stavu. Účelem je eliminovat ztrátu náboje akumulátoru způsobenou samovybíjením a udržovat tak akumulátor v pohotovosti pro případné použití. Velikost konzervačního proudu bývá obvykle 0,025 až 0,05  $I_t$ .

## 5.2 Napěťové nabíjení

Napěťové nabíjení se používá pro nabíjení lithiových akumulátorů. Princip je podobný jako u nabíjení olovených nebo otevřených NiCd akumulátorů. Jedná se o nabíjení konstantním proudem, dokud akumulátor nedosáhne předem stanoveného napětí a poté pokračuje nabíjení při konstantním napětí, čímž začne nabíjecí proud klesat. Často se setkáváme s označením „CCCV“ (Constant Current followed by Constant Voltage) nebo nabíjení s charakteristikou „IU“. Nabíjení se ukončí, až nabíjecí proud klesne na předem stanovenou hodnotu. Teplotní rozsahy pro toto nabíjení se pohybují od 0 do +50°C. Opět platí, že každý výrobce udává různé teplotní rozsahy. Dalším důležitým údajem, kterým se akumulátory odlišují, je maximální povolený nabíjecí proud.

## 5.3 Nabíjecí metody hermetických akumulátorů

### 5.3.1 Ukončení časové

Tato nabíjecí metoda byla dříve používána nejčastěji. Dnes je rovněž používána hlavně u levnějších nabíječek, kde většinou podle tabulky v návodu k použití musíte dodržet nabíjecí čas, nebo je nabíječka konstruována tak, že se po určitém čase vypne, nebo sníží nabíjecí proud na proud konzervační. Touto metodou jsou vždy nabíjeny akumulátory určené pro zkušební účely. Normy předepisují nabíjení 0,1  $I_t$  po dobu 14 až 16 hodin.

Pokud hlídáme čas sami, pak je nabíjení většinou bez problémů. Jestliže však nabíjení svěříme technice, mohou nastat problémy. Například když dojde k výpadku elektrického proudu, časový čítač většinou začne po obnovení dodávky elektrické energie znovu načítat od nuly. Důsledkem je, že akumulátorová baterie se začne přebíjet. Dalším problémem je, že tato metoda se často používala i v rychlých nabíječkách, například v hodinových nabíječkách pro videokamery (nabíjecí proud  $I_t$ ). Pokud vlastníme takovou nabíječku a vložíme do ní akumulátorovou baterii, která je vybita jen z 50 %, docílíme toho, že akubaterie je za 30 minut nabitá a dalších 30 minut se přebíjí, a to dosti velkým proudem. Díky přebíjení se velká část vložené energie přemění na teplo, baterie se přehřívá a kapacita takovéto baterie po nabití je 50 až 60 %. Takže jsme ji vůbec nenabíli, ale naopak jsme snížili její životnost. Tento úkaz se mylně přisuzuje paměťovému efektu. Není to však nic jiného než přebíjení a poškození baterie je pak způsobeno vysokou teplotou, velkým proudem při přebíjení, popř. porušením hermetizace článku. Proto nabíjení touto metodou nedoporučujeme pro proudy větší než  $0,2 I_t$ .

Lépe řešené nabíječky využívají tuto metodu spojenou s předchozím vybitím akumulátorové baterie. Pokud tuto nabíječku správně používáme, to znamená, že provedeme vybití baterie, nedochází sice k přebíjení, ale většinou takto provozovaná baterie nemá životnost delší než 500 cyklů. Je totiž žádoucí, aby po ukončení vybití nastala dostatečná časová prodleva nutná ke snížení teploty (při vybití se akumulátory zahřívají). Takto jsou však konstruovány pouze některé profesionální přístroje.

### **5.3.2 Ukončení napětové**

#### **5.3.2.1 Metoda „ $V_{co}$ “**

Metod ukončení nabíjení podle napětí známe několik. První metodou je ukončení nabíjení při dosažení předem stanoveného napětí. Toto napětí bývá značené  $V_{co}$  (V je z anglického voltage a CO cut-off). Napětí  $V_{co}$  je předem dané a stanovuje se většinou podle katalogových nabíjecích křivek pro daný akumulátor. Nevýhodou tohoto systému je, že napětí akumulátoru, resp. průběh napětí při nabíjení, se mění jak teplotou, tak nabíjecím proudem, tak podle druhu elektrod v akumulátoru a také jiný je průběh napětí při nabíjení u článku, který se dlouhodobě skladoval. Proto se tato metoda používá pouze jako dodatková metoda k ostatním metodám, aby se zabránilo vývinu vodíku na záporné elektrodě při nabíjení za nízkých teplot (pod  $0^\circ\text{C}$ ).

#### **5.3.2.2 Metoda „PKV“**

Druhou metodou je ukončení nabíjení při dosažení vrcholu napětí. Tento vrchol se označuje PKV. Nabíjení je ukončeno v momentě nejvyššího napětí. Tato metoda by se měla využívat pro rychlé nabíjení, tedy při nabíjecím proudu  $0,5$  až  $1 I_t$ . Pro menší proudy je stanovení PKV velice obtížné, respektive PKV neexistuje. Pro větší proudy (při ultrarychlém nabíjení) je tato metoda zkreslována zahříváním akumulátoru a poklesem napětí v momentě oteplování akumulátoru. Ze stejného důvodu není také vhodná pro nabíjení akumulátorů za teplot vyšších než pokojových.

#### **5.3.2.3 Metoda „ $-\Delta V$ “**

Třetí, mezi odbornou veřejností nejznámější, je metoda indikace poklesu napětí na konci nabíjení, nazývaná  $-\Delta V$ . Nabíjení se ukončí, pokud pokles napětí na jeden článek je  $10\text{ mV}$ .

Tato hodnota platí pro NiCd akumulátory. Pro NiMH akumulátory je vhodné indikovat pokles napětí 5 mV na článek.

Tato metoda je sice nejrozšířenější, nicméně má i své slabé stránky. V první řadě ji lze pro NiCd akumulátory aplikovat jen pro proudy o velikosti 0,5 až 2  $I_t$ , což odpovídá rychlému, popř. velmi rychlému nabíjení. Při nabíjení proudem nižším než 0,5  $I_t$  již nedochází k poklesu napětí na konci nabíjení. Pro proudy větší než 2  $I_t$ , tedy pro ultra rychlé nabíjení, není též nejvhodnější. S tím souvisí druhá slabina, a to, že k poklesu napětí dochází, až když je akumulátor nabitý a začne se přebíjením zahřívat a zvýšením teploty vlastně dochází ke snížení napětí. Nabíjení je tedy ukončeno až po krátkém přebíjení, které samozřejmě snižuje životnost zdroje. Použití této metody nejčastěji najdeme v komerčních nabíječkách pro rychlé nabíjení, tedy v nabíječkách, které jsou běžně v prodeji a slouží k nabíjení komerčních akumulátorů, a ve starších nabíječkách pro akumulátorové nářadí.

V současné době jsou tyto nabíječky konstruovány jak pro NiMH, tak i NiCd akumulátory, proto jsou nastaveny na pokles 5 mV na jeden článek. Ale v době, kdy se ve většině aplikací používaly jen NiCd akumulátory, se pokles napětí nastavoval na 10 mV na článek. Pokud v takové nabíječce začneme nabíjet NiMH akumulátorové baterie, většinou nedojde k poklesu napětí o 10 mV na článek a tím nenastane ukončení nabíjení a baterie je přebíjena.

Při konstrukci nabíječek založených na této bázi se také zapomíná na to, že akumulátor může mít záporný pokles napětí hned na začátku nabíjení. Tento efekt vykazují hlavně akumulátory po delším skladování - napětí rychle vzroste a pak se vrátí do normálních hodnot podle nabíjecích křivek. Proto se doporučuje při používání této metody ignorovat průběh napětí v prvních 5 až 10 minutách. Kvalitnější nabíječky jsou konstruovány již s ohledem na tento jev.

#### **5.3.2.4 Metoda „ $d^2V/dt^2$ “**

Podobnou metodou jako je  $-\Delta V$  je sledování druhé derivace napětí v čase ( $d^2V/dt^2$ ).

Nabíječka snímá napěťovou křivku a zastaví nabíjení v okamžiku zaznamenání napěťové derivační špičky. Plného nabití baterie lze dosáhnout pouze přepnutím na dovolený trvalý dobíjecí proud. Tato nabíjecí metoda zvyšuje životnost akumulátorových baterií, protože nedochází k jejich přebíjení.

#### **5.3.3 Ukončení teplotní**

Základní teplotní metody ukončení nabíjení jsou dvě. Nejčastěji se s nimi setkáváme v mobilních telefonech, radiostanicích, noteboocích a akumulátorovém nářadí. Teplota se snímá většinou termistorem, který se umísťuje na plášť akumulátorového článku. Poloha termistoru je velice důležitá. Termistor, který není přímo na plášti akumulátoru, neudává přesné informace, popřípadě udává velice zpožděné informace o teplotě akumulátoru. Používají se termistory typu NTC, které při zvýšení teploty snižují svou hodnotu rezistance.

Někdy se teplotní čidlo nachází přímo v integrovaném obvodu, který hlídá parametry nabíjení.

I zde však platí, a na to se často zapomíná, že takový obvod s integrovaným termistorem musí být co nejbližší akumulátoru, aby hodnoty změny teploty (změny parametrů termistoru) nebyly zkreslovány.

#### 5.3.3.1 Metoda „TCO“

První metoda vypíná nabíjecí proud v okamžiku dosažení předem dané teploty: většinou to bývá kolem  $+45^{\circ}\text{C}$ . Tato teplota nebo metoda se označuje TCO (Thermal cut-off).

Tento druh nabíjení se doporučuje u akumulátorů s kapacitou do 2 Ah proudem 0,5 až  $1 I_t$  a u akumulátorů s větší kapacitou proudem cca  $0,3 I_t$ . Tato metoda není vhodná pro nabíjení akumulátorových baterií s teplotou nízkou nebo naopak vysokou (ať už způsobenou teplotou okolí nebo zahříváním akumulátoru při vybíjení). Při nízkých teplotách dochází ke zbytečnému přebíjení a při teplotách vyšších se akumulátor nenabije na plnou kapacitu nebo se nezačne nabíjet vůbec.

#### 5.3.3.2 Metoda „ $\Delta T/\Delta t$ “

Druhou metodou je sledování změny teploty v čase ( $\Delta T/\Delta t$ ). K ukončení nabíjení dochází v momentě, kdy změna teploty je 0,5 až  $1^{\circ}\text{C}$  za minutu. Opět se doporučuje nabíjecí proud o velikosti alespoň  $0,3 I_t$  a teploty do  $30^{\circ}\text{C}$ . Tato metoda je velice oblíbená. Stává se nevhodnou při výpadku elektrické energie nebo při nabíjení nabitého a ještě teplého akumulátoru. Pokud takový akumulátor začneme znovu nabíjet, nabíječka čeká na další nárůst teploty. Typickým příkladem může být starší typ hands free sady v automobilu k nabíjení GSM telefonů. Akumulátorová baterie se nabije a zahřeje. Po krátkém (neplánovaném) vyjmutí telefonu z nabíječky a opětném vložení telefonu zpět, se baterie nabíjí tak dlouho, dokud opět nevzroste teplota.

Využitím kombinace obou předcházejících metod se stává nabíječka poměrně sofistikovaná. Základem takové nabíječky bude princip  $\Delta T/\Delta t$  a k tomu ještě zamezení nabíjení baterie, která má nízkou nebo naopak zvýšenou teplotu. Nabíječka bude čekat s nabíjením až do okamžiku, kdy se teplota akumulátorové baterie bude pohybovat například v hodnotách  $+5$  až  $+35^{\circ}\text{C}$ .

#### 5.3.4 Ukončení proudové

Tento princip není moc častý. Vyskytoval se hlavně u velmi rychlého nabíjení zdrojů pro akumulátorové nářadí. Baterie se nabíjí konstantním proudem až do doby, kdy dosáhne předem určeného napětí. Poté přechází na nabíjení konstantním napětím. Nabíjení se ukončí při nárůstu velikosti nabíjecího proudu při konstantním napětí. Problémem může být nabíjení za zvýšené teploty nebo nabíjení zahřátých akumulátorů. V tomto případě může nastat situace, kdy předem zvolené napětí akumulátor nikdy nedosáhne. Podobná se může zdát metoda CCCV (viz. kapitola 5.5) pro nabíjení lithiových akumulátorů, ale tam nikdy nedochází k nárůstu proudu.

### 5.4 Nabíjení hermetických NiMH akumulátorů

Nabíjení NiMH akumulátorů je poněkud odlišné od nabíjení NiCd akumulátorů. Hlavním rozdílem je průběh teploty při nabíjení. U NiCd akumulátorů zůstává teplota v průběhu nabíjení většinou konstantní nebo nepatrně roste a prudce stoupá až při přebíjení. U NiMH akumulátorů teplota článků od začátku nabíjení neustále stoupá a při přebíjení je tento vzrůst prudší. Dále platí, že čím větší je nabíjecí proud, tím je rychlejší nárůst teploty.

Dalším specifickým je pokles napětí akumulátoru na konci nabíjení. I když je pokles menší než u NiCd akumulátorů, a to 5 mV, objevuje se i při normálním nabíjení, tzn. proudem o velikosti



desetiny kapacity ( $0,1 I_t$ ), takže i při tomto nabíjení lze použít i metodu „ $\Delta V$ “, ale pouze při teplotách do  $+25^\circ\text{C}$ . Při vyšších teplotách není pokles vždy indikovatelný.

Další metody používané pro NiMH akumulátory jsou obě metody s teplotním ukončením: metoda  $\Delta T/\Delta t$  a metoda TCO a dále samozřejmě metoda hlídání času. Nevhodnou metodou je PKV a  $V_{co}$ . U metody  $\Delta T/\Delta t$  se doporučuje nabíjecí proud alespoň  $0,2 I_t$ , aby nárůst teploty byl zřetelný.

### 5.5 Nabíjení lithiových akumulátorů

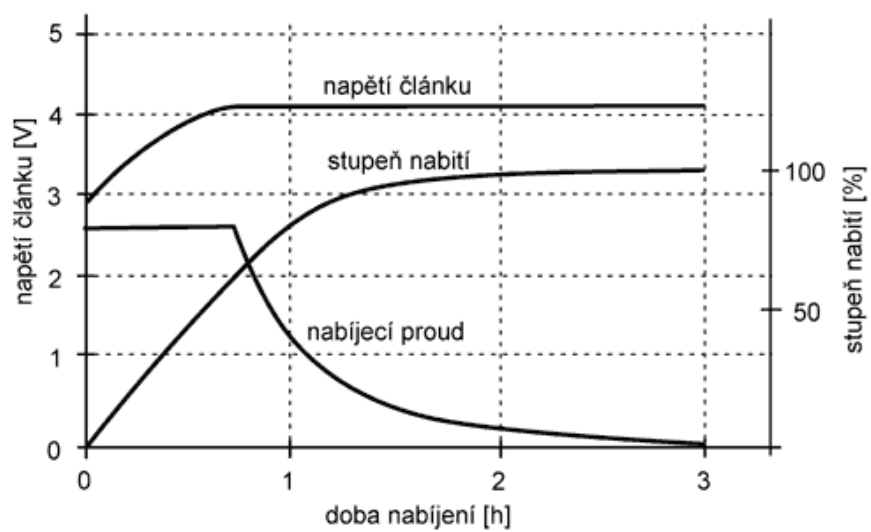
Při nabíjení lithiových akumulátorů se používá napětíové nabíjení, resp. metoda, která se v zahraniční literatuře označuje jako CCCV (Constant Current followed by Constant Voltage). Je to nabíjení konstantním proudem, dokud akumulátor nedosáhne předem stanoveného napětí a poté nabíjení konstantním napětím. Nabíjení se ukončí, pokud nabíjecí proud klesne na předem stanovenou hodnotu. Ve většině případů se doporučuje hodnota proudu odpovídající 1,5 až 2 % jmenovité kapacity, samozřejmě vyjádřená v jednotkách proudu.

V některých nabíječkách se setkáváme i s časovým ukončením. Nabíjí se například proudem odpovídajícím  $1/2 I_t$ , dokud se nedosáhne předem stanoveného napětí a potom ještě třeba 2 hodiny, samozřejmě s omezením konstantního napětí. V katalozích pak najdeme výrazy pro takovéto nabíjení  $C/3 + 2$  hodiny nebo  $C/2 + 1$  hodinu apod. Správně by mělo být samozřejmě podle nové normy označení  $0,33 I_t + 2$  hodiny, resp.  $0,5 I_t + 1$  hodina. Toto použití je vhodné v jednoúčelových zařízeních, kde se nepředpokládá nabíjení akumulátorů různých kapacit. Tato metoda by ale například nebyla vhodná pro nabíjení akumulátorů k videokamerám, kde se můžeme setkat kromě akumulátorů v základní velikosti i s paralelně řazenými akumulátory s dvoj nebo i trojnásobnou kapacitou, vhodnými do stejné videokamery a tedy i do stejné nabíječky.

Jak již bylo řečeno v kapitole o Li-Ionových akumulátorech, při stanovení konečného nabíjecího napětí je nutno dbát na katalogové údaje výrobce. To proto, že doposud se vyrábějí akumulátory ve čtyřech druzích kladných elektrod a podle toho se konečné nabíjecí napětí pohybuje od 4,0 do 4,3 V. Nejběžnějším typem, který se vyskytuje v aplikacích na trhu, je akumulátor s kladnou kobaltovou elektrodou, která má konečné nabíjecí napětí 4,2 V.

Při nabíjení Li-Ionových článků, pokud je správně nastaveno konečné nabíjecí napětí, nedochází k přebíjení akumulátorů, jako je tomu u NiCd a NiMH akumulátorů.

[1]



Obr. 4 Nabíjení Li-Pol akumulátoru

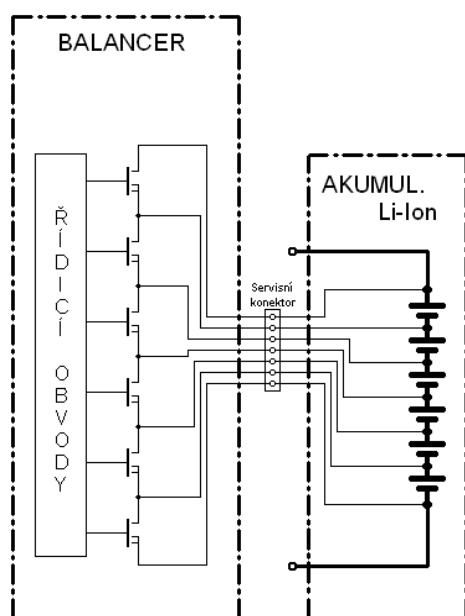
[1]

## 6 Balancování a jeho metody

Lithiové akumulátorové články jsou velmi náchylné na přebíjení. Pokud by se tyto články zapojily do série a v tomto zapojení byla takto vytvořená baterie nabíjena bez balancování, některé články by byly nabity dříve a jiné by ještě nebyly nabity do plné kapacity. V případě, že by bylo v nabíjení pokračováno, nabitě články by byly přebíjeny a tím poškozovány, nebo nevratně zničeny.

Z tohoto důvodu je při nabíjení lithiových baterií nutné provádět takzvané balancování článků. Každá baterie je opatřena servisním konektorem, tedy vývody spojů každého článku. Při nabíjení metodou „CCCV“, zajistí zdroj nabíjecího proudu konstantní proud a omezení maximálního napětí celé baterie, balancer pak hlídá napětí jednotlivých článků.

Balancování je prováděno obtékáním nabíjecího proudu mimo článek přes tranzistor nebo rezistor v sérii s tranzistorem. Ilustrační schéma je na obrázku (Obr. 5).



Obr. 5 Ilustrační schéma lithiové baterie s balancerem.

### 6.1 Balancování v průběhu celého nabíjení

V průběhu celého nabíjení je sledováno napětí na jednotlivých člancích a pomocí balanceru je napětí dorovnáváno. Tato metoda je složitější, ale méně náročná na ztrátový výkon.

### 6.2 Balancování na konci nabíjení

Balancování začne probíhat v momentě, kdy některý článek dosáhne napětí 4,2 V na článek. Balancer na člancích s napětím 4,2 V začne snižovat nabíjecí proud protékající daným článkem. Balancování probíhá tak dlouho, až všemi akumulátory protéká zanedbatelný nabíjecí proud a zbytek proudu protéká balancerem. V tomto okamžiku je baterie plně nabitá. Tato metoda je sice jednodušší, ale je náročná na ztrátový výkon. Balancer musí být schopen ztrácet plný nabíjecí proud.

## 7 Popis vozidla

### 7.1 Účel vozidla

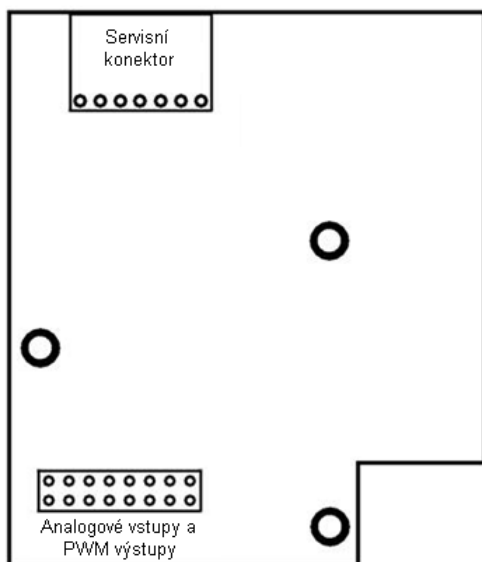
Účelem robotických zařízení je nejen usnadnit člověku práci, ale také ho zastoupit v případě, že by mu hrozilo nebezpečí. Už samotný název „průzkumné vozidlo“ naznačuje, k jakým účelům by mělo být využíváno. Setkáváme se s prostory, kde nevíme, co můžeme od daného prostředí očekávat. Příkladem může být staticky narušená budova. Do takových prostor vyšleme robotické zařízení, které prostředí prozkoumá a na základě výsledků se určí, zda je možný vstup člověka do daných prostor.

### 7.2 Požadavky na zařízení související s touto prací

Průzkumné vozidlo je napájeno šestičlánkovou Li-Pol baterií. Je žádoucí, aby nabíjení této baterie bylo co nejjednodušší a pokud možno variabilní. Vozidlo by mělo po připojení nabíjecího napětí samo vyhodnotit stav nabíjení, začít nabíjet a při plném nabití baterie nabíjení ukončit. Vozidlo by se mělo být schopno nabít i z „měkkých“ zdrojů elektrické energie, jako fotovoltaické články, kterými by bylo vhodné vozidlo do budoucna vybavit.

### 7.3 Vliv konstrukce vozidla na konstrukci nabíjecího modulu.

Je požadováno, aby byl nabíjecí modul umístěn přímo nad modul správy napájení a tyto moduly byly propojeny pomocí dutinkové lišty. Na desce modulu správy napájení jsou umístěny další konektory jako UART a BDM, které omezují rozměry desky nabíjecího modulu. Rozměry desky by měly být menší než 7 x 6 cm. Velikost chladiče výkonového tranzistoru je rovněž omezena nosnou konstrukcí vozidla nad moduly. Předpokládané základní rozvržení desky nabíjecího modulu je na obrázku (Obr. 6).

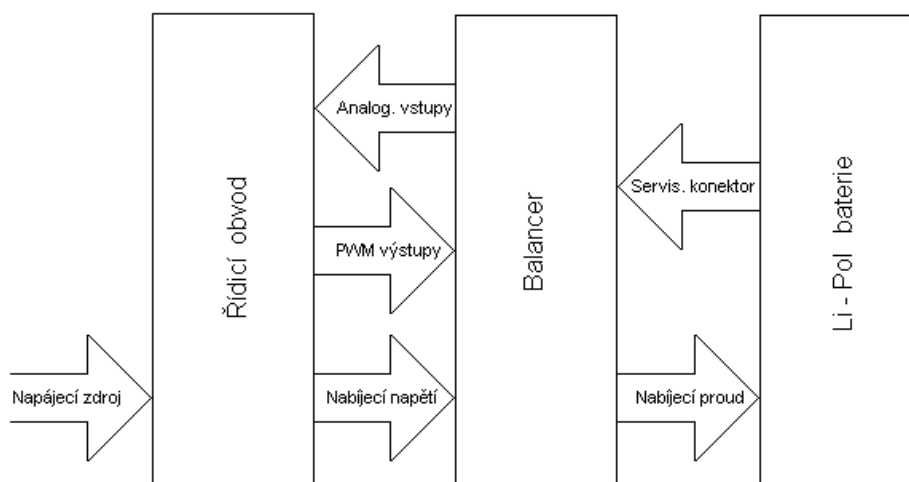


Obr. 6 Základní požadované rozmístění desky

## 8 Návrh nabíjecího modulu

### 8.1 Zařazení do projektu

Modul nabíjení bude vložen mezi modul řízení napájení a baterii. K modulu řízení spotřeby bude modul nabíjení připojen pomocí 7 PWM výstupů, 6 analogových vstupů a 5 V výstupu napájení. Dále bude do modulu nabíjení připojen výstup nabíjecího napětí z modulu řízení spotřeby. Výstup nabíjecího proudu z modulu nabíjení bude připojen na baterii. Blokové schéma zařazení do projektu je na obrázku (Obr. 7).

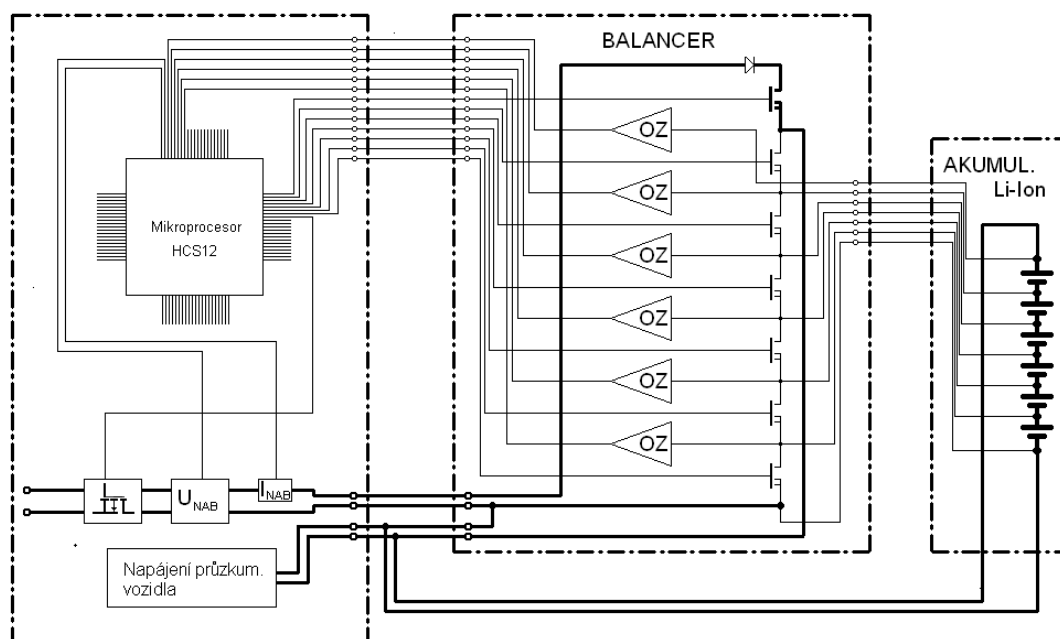


Obr. 7 Blokové schéma zařazení do projektu

### 8.2 Princip nabíjení

Z teoretického rozboru vyplývá, že nejvhodnější metoda pro nabíjení lithiových akumulátorů je metoda „CCCV“ (Constant Current followed by Constant Voltage). V první fázi nabíjení je potřeba udržovat stálý nabíjecí proud a v druhé fázi udržovat stálé napětí baterie, tedy i zdroje. Základem řízení proudu by měl být výkonový unipolární tranzistor. Tento nabíjecí proud a také odebíraný proud z baterie jsou diskrétně měřeny mikrokontrolerem na modulu správy napájení. Z toho důvodu musí tranzistor řídit nabíjecí proud plynule. V budoucnu by bylo vhodné měření nabíjecího proudu integrovat v čase a řízení provádět spínaným režimem tranzistoru. Pro udržení konstantního napětí by mělo být napětí měřeno na jednotlivých akumulátorových článcích pomocí operačních zesilovačů a výstupní napětí operačního zesilovače by mělo být následně digitalizováno mikrokontrolerem. Srovnávání napětí článku baterie je potřeba provádět obtékáním nabíjecího proudu mimo článek s vyšším napětím, aby ostatní články tento článek napětově „dohnaly“. Tento balancovací proud je potřeba spínat taktéž unipolárním tranzistorem. Pro zabránění zpětného vybíjení do zdroje, je vhodné vložit do nabíjecího obvodu usměrňovací diodu. Principiální schéma je na obrázku (Obr. 8).

## Návrh blokového schématu



Obr. 8 Principiální schéma zapojení

## 8.3 Požadavky na výkonovou část

### 8.3.1 Požadavky na řídicí část nabíjecího proudu

Nabíjecí proud by měl dosahovat hodnot okolo 3 A. Vzhledem k lineárnímu otevírání tranzistoru bude na tranzistoru docházet k velkým výkonovým ztrátám, které budou tranzistor zahřívat. Uvážíme-li, že napájení nabíječky by mělo být větší než 26,5 V a napětí baterie může klesnout až na 18 V, rozdíl těchto potenciálů je 8,5 V. Úbytek napětí na diodě je okolo 0,8 V, na tranzistoru je tedy potřeba ztrácet 7,7 V. Při proudu 3 A, odpovídá výkonová ztráta na tranzistoru přibližně 23 W. Tento výkon je potřeba odvádět chladičem do okolního prostředí. Dále je potřeba zabezpečit, aby při nízkém nabíjecím napětí netekl proud z baterie do zdroje, což by měla zajistit již zmíněná dioda.

### 8.3.2 Požadavky na balancovací část

Při balancování je potřeba ztrácet přebytečný výkon balancovaného článku. Při napětí článku 4,2 V a balancovacím proudu zhruba 700 mA je tento výkon okolo 3 W na článek, což závisí na hodnotě rozvážení baterie. Pokud by se měl výkon ztrácet na tranzistoru, bylo by potřeba velkých chladičů pro chlazení tranzistorů. Z toho důvodu je vhodné použít pro ztrátu výkonu výkonové rezistory o hodnotě 5,6  $\Omega$  a výkonu 5 W. Spínací tranzistor nemusí být dimenzován na velký výkon, jelikož by měl pracovat v režimu PWM. Je však potřeba, aby byl tranzistor sepnut již při 4 V potenciálu na řídicí elektrodě.

#### **8.4 Požadavky na měřicí část**

Je zapotřebí, aby napětí článku bylo měřeno s co největší přesností. Na měřeném napětí se nesmí projevovat rušení PWM signálem. Měřicí obvody musí být co nejvíce integrovány. Maximální napětí článku je 4,2 V a napěťový rozsah analogových vstupů je 5 V, není tedy potřeba, aby měla měřicí část nějaké zesílení. Jedním z požadavků je také možnost měření napětí při provozu vozidla, aby nedošlo k podvybití kteréhokoli článku baterie. Z toho důvodu by měly být měřicí obvody aktivní i mimo nabíjecí proces.

#### **8.5 Požadavky na obslužnou programovou část**

Úkolem mikroprocesoru bude řízení celého procesu nabíjení a sledování napětí jednotlivých článků při provozu vozidla. Celý proces nabíjení je digitalizován, zpracováván digitálně a poté zpětně řízen pomocí PWM signálů.

## 9 Návrh a výroba desky plošného spoje

Schéma zapojení i deska plošného spoje byly navrženy v návrhovém systému Formica. Volně dostupná verze je omezena počtem 40 součástek a 150 vývodů. Při návrhu této desky byl limit překročen, z tohoto důvodu je deska navržena ve školní verzi.

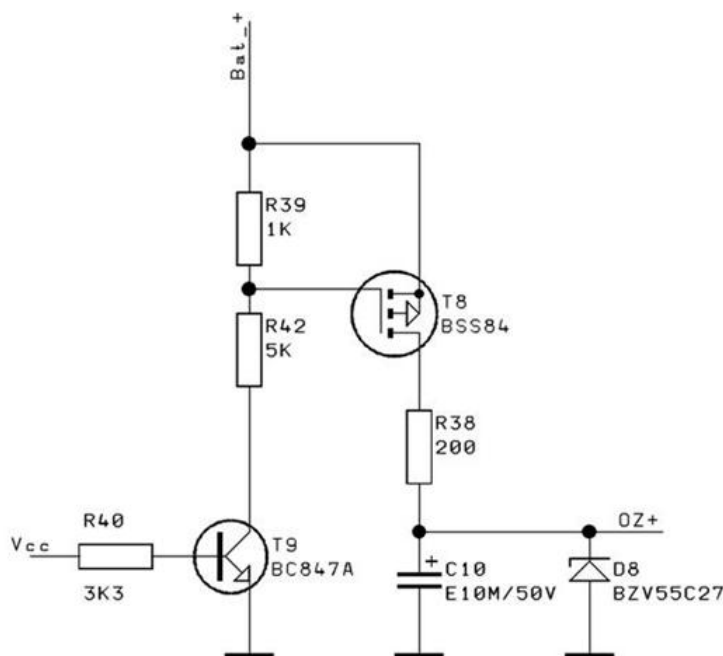
Ovládání návrhového systému je velmi odlišné od jiných prostředí. Avšak pokud uživatel využívá prostředí pravidelně a zvykne si na tento systém ovládání, je Formica pohodlná a rychle ovladatelná. Ovládání je navrženo pro dokonalou spolupráci klávesnice a myši. Knihovny součástek a pouzder byly pro tyto účely dostačující, avšak v případě potřeby se dají rozšířit vyhledáním na internetu, nebo vytvořením vlastní předlohy.

Kompletní schéma zapojení plošného spoje je v příloze této práce.

### 9.1 Schéma zapojení napájecí části pro operační zesilovače

Pro napájení operačních zesilovačů byla použita jednoduchá filtrace napětí pomocí rezistoru R38 a kondenzátoru C10. Pro tyto zesilovače je sice použito napájení z baterie, ale nabíjecí proud je řízen částečně filtrovaným PWM a je tedy možné, že by se PWM signál dostával na napájení operačních zesilovačů jako nepříznivý šum. Jako ochrana proti přepětí je zapojena Zenerova dioda D8.

Napětí je spínáno tranzistorem T8, T9 a rezistory R39, R40 a R42. Jako spínací řídicí signál je použito napětí  $V_{cc}$  5 V z řídicí desky správy napájení. Schéma zapojení napájecí části pro operační zesilovače je na obrázku (Obr. 9).

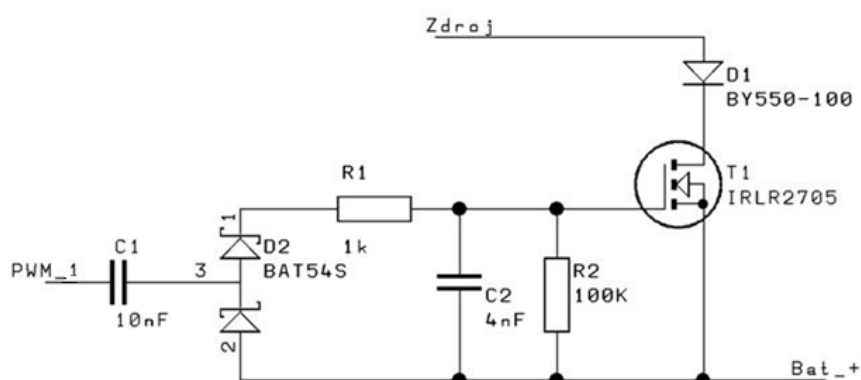


Obr. 9 Schéma zapojení napájecí části pro OZ



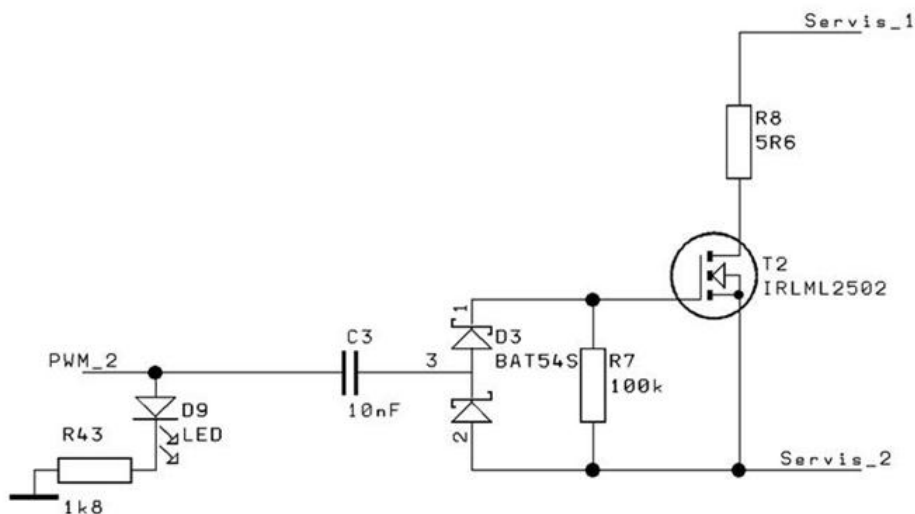
## 9.2 Návrh a schéma zapojení pro řízení nabíjecího proudu

Nabíjecí proud je řízen pomocí výkonového tranzistoru T1. Na vývodu „Source“ tranzistoru je napěťový potenciál roven potenciálu baterie a tranzistor je potřeba řídit PWM signálem z procesoru o napěťové hodnotě 5 V. Z toho důvodu je pro řízení použit obvod s diodovým blokem BAT54S a kondenzátorem C1. V intervalu, kdy je PWM signál v logické „0“, se kondenzátor C1 nabije na napětí baterie snížené o úbytek na diodě diodového bloku a v intervalu, kdy je PWM signál v logické „1“ se k napětí 5 V PWM signálu přičte napětí kondenzátoru a přes druhou diodu diodového bloku a rezistor R1 nabije kondenzátor C2, který společně s rezistory R1 a R2 tvoří převod PWM signálu na analogovou hodnotu. Dioda D1 zabraňuje zpětnému vybíjení baterie do zdroje. Schéma zapojení řízení nabíjecího proudu je na obrázku (Obr. 10).



Obr. 10 Schéma zapojení řídicí části nabíjecího proudu



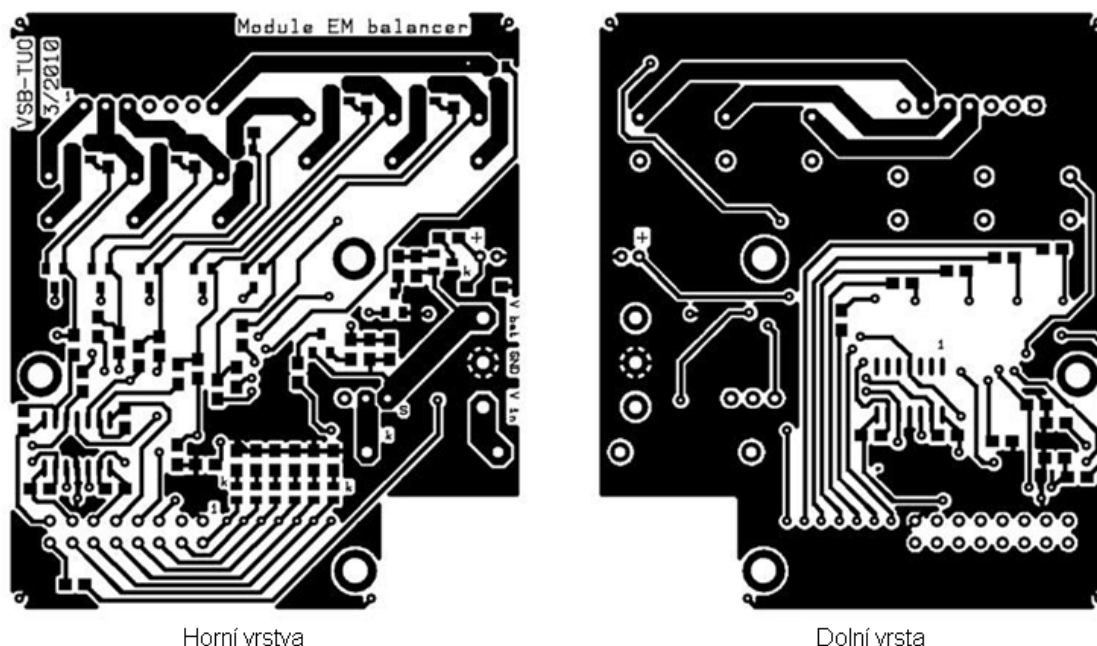


Obr. 12 Schéma zapojení balancovací části

## 9.5 Výroba desky plošného spoje

Deska plošného spoje byla vyráběna takzvanou negativní fotocestou. Vytvořená předloha desky plošného spoje byla vytištěna jako negativ na průhlednou folii laserfilm pomocí laserové tiskárny (Obr. 13). Výtisk nebyl dostatečně neprůhledný z důvodu nedostatečného roztavení toneru při tisku. Proto byl použit speciální sprej Black Covering Spray, který po nanesení toner naleptal a rozlil. Tím bylo dosaženo neprůsvitnosti ve vytištěných místech. Deska plošného spoje je dvouvrstvá a obsahuje prokovky. Obě strany předlohy bylo nutno slepit k sobě tak, aby se prokovky překrývaly. Poté byl mezi předlohy vložen oboustranný cuprexit s fotocitlivou vrstvou a osvětlen z jedné i druhé strany ultrafialovým zářením. Ponořením do vývojky byly odstraněny neosvětlené části fotocitlivé vrstvy. Deska byla položena na leptací roztok ( $\text{FeCl}_3$ ) tak, aby plavala na hladině. Odleptaná měď klesá na dno roztoku a nestane se, že by byla spodní vrstva odleptána a horní nedoleptána. Po odleptání první vrstvy byla deska položena na hladinu opačně. Pro odstranění zbytku fotocitlivé vrstvy byl použit stripper.

Nakonec byla deska obstříhnuta na požadovaný rozměr, natřena roztokem lihu s kalafunou a odvrtána.



Obr. 13 Předlohy desky plošného spoje

## 9.6 Osazení desky součástkami a oživení

Deska byla osazována ručně za použití mikropáčky. Nejdříve byly napájeny prokovky, následně SMD rezistory, kondenzátory, diody, tranzistory a operační zesilovače. Poté klasické drátové součástky, konektory a nakonec výkonové rezistory. Rozmístění součástek na desce je v příloze dokumentu.

Oživení desky bylo prováděno na vytvořené kondenzátorové baterii, kde na každém kondenzátoru byl paralelně připojen rezistor, aby se kondenzátory ve velmi krátké době nenabily, takže by nebylo možné otestovat spínání nabíjecího proudu. PWM signál byl získáván z laboratorního generátoru a výstupy operačních zesilovačů byly měřeny digitálním multimetrem.

Při oživení desky bylo zjištěno, že byla navržena nedostatečná filtrace napětí a řídicí napětí tranzistoru T1 je pilovitého charakteru. Zbytek obvodu splňuje požadavky.

## 10 Návrh, vývojový diagram a popis programu

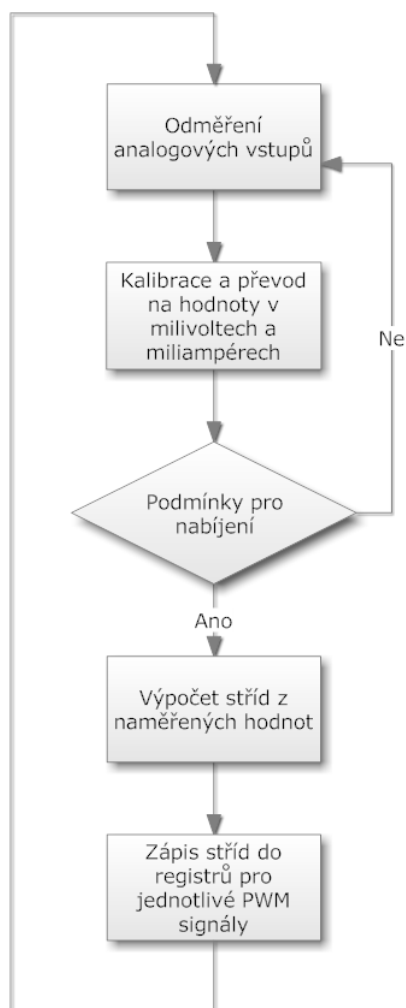
### 10.1 Návaznost na program řízení spotřeby energie

V mikroprocesoru je implementován FreeRTOS operační systém reálného času. Nabíjecí proces má být volán jako funkce ve vlákne každých 10 ms. Již je zpracováno měření analogových vstupů, což je také voláno jako funkce ve vlákne. Hodnoty analogových vstupů jsou převedeny na napěťovou hodnotu v milivoltech (u měření proudu v miliampérech), poté je proveden výpočet plovoucích průměrů a uložení do globálních proměnných AnCell1 - AnCell6, NabijeciNapeti, NabijeciProud a OdebiranyProud. Funkce nabíjení si má číst tyto hodnoty a podle nich nastavovat hodnoty střidy PWM signálu pro řízení nabíjecího proudu a balancování.

### 10.2 Návrh programu a vývojového diagramu

Obsluha nabíjení by měla být volána při běhu operačního systému jako funkce Charger v intervalu 10 ms. Po vstupu do funkce se porovná, zda je nabíjecí napětí větší než napětí baterie. V případě, že podmínka nebude splněna, funkce se ukončí. V případě splnění podmínky se bude pokračovat zjištěním skutečného nabíjecího proudu, a to odečtením odebíraného proudu od proudu tekoucího ze zdroje nabíjení a zjistí se, zda napětí některého článku nekleslo pod povolenou mez 3 V. V případě nižšího napětí se nastaví maximální povolená hodnota nabíjecího proudu na 10 %. Následně se zjistí, zda docílila baterie svého maximálního napětí a zda zároveň proud klesl na dobu větší než 5 s pod 3 % povoleného nabíjecího proudu nabíjené baterie. V případě splnění podmínky se nastaví stav baterie „Charged“, ukončí se proces nabíjení a balancování vypnutím PWM, a funkce Charger se ukončí. Pokud podmínka splněna nebude, provede se inkrementace, nebo dekrementace proměnné pro hodnotu střidy PWM signálu řídicího nabíjecí proud. V případě, že bude proud nižší než je stanovená mez a zároveň napětí žádného článku nepřekročí maximální povolenou hodnotu, provede se inkrementace, v opačném případě se provede dekrementace. Dále se do pomocné proměnné uloží nejnižší napěťová hodnota článků baterie a odečte se od všech napěťových hodnot článků. Tím vzniknou rozdíly v milivoltech, které se, omezené na hodnotu 97, zapíší do registru PWMDTY0 až PWMDTY5 a do registru PWMDTY6 se zapíše hodnota střidy PWM signálu řídicího nabíjecí proud. Poté se funkce ukončí. Celý cyklus by se měl po 10 ms opakovat zavoláním funkce, ale jen v případě stavu baterie „Charging“. Tyto stavy kontroluje systém správy napájení.

### 10.3 Základní vývojový diagram testovacího programu



### 10.4 Vývoj programu

Pro vývoj programu byl použit software Freescale CodeWarrior IDE. Toto vývojové prostředí umožňuje programování v jazyce Assembler, C a C++. Také podporuje vizualizaci a krokování procesu a simulaci vstupu a výstupu.

Pro testování programu byla použita deska vývojového systému EVB ve školní laboratoři s odpovídajícím mikroprocesorem HCS12, avšak bez použití operačního systému reálného času. Na desce jsou vyvedeny konektor pro PWM výstupy, konektory s analogovými vstupy a další porty procesoru. Procesor je programován přes rozhraní BDM stejně jako modul řízení spotřeby.

Při testování nebylo možné nasimulovat měření vstupního nabíjecího napětí, nabíjecího proudu a odebíraného proudu. Tyto hodnoty jsou měřeny mikroprocesorem na desce řízení spotřeby energie. Pro testování nabíjení byla použita baterie 800 mA/h, aby při náhodné chybě nedošlo k poškození zařízení velkými proudy.

## 10.5 Vývoj a testování nabíjecí funkce Charger

Jak již bylo zmíněno, pro vývoj a testování programu byla použita vývojová deska ve školní laboratoři. Pro otestování byl tedy vytvořen celý program, kde byla vytvořena také funkce měření, která měla za úkol změřit analogové vstupy, provést kalibraci, filtraci a převést na hodnotu v milivoltech. Filtrace byla provedena pomocí jednoduchého plovoucího průměru. Vzorec pro výpočet:

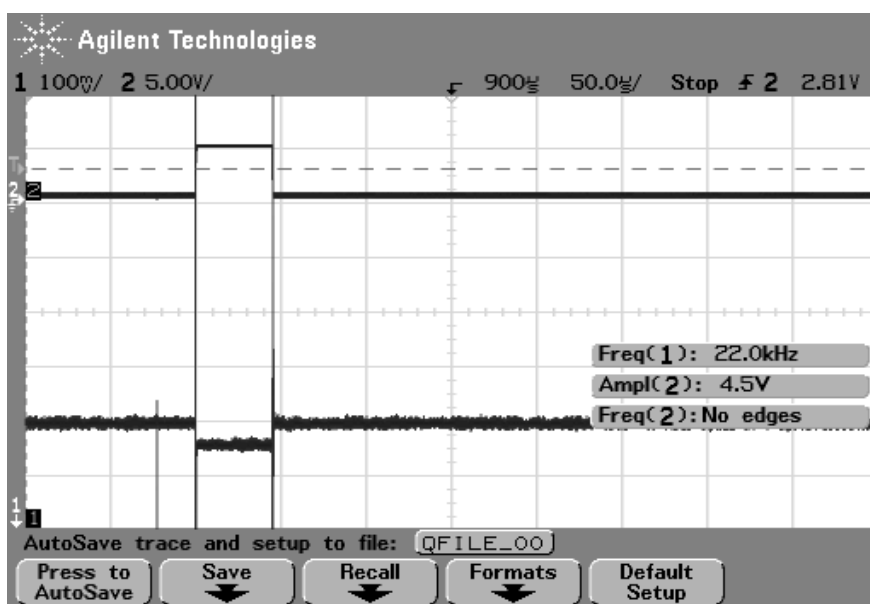
$$\text{avg} = (\text{avg} * k - y[n-k] + y[n]) / k;$$

[5]

V této funkci je také potřeba provádět vypnutí PWM signálu před měřením analogových vstupů a následně zapnutí PWM signálu. V měřicí funkci testovacího programu bylo provedeno vypnutí nastavením střidy PWM signálu na 0%, počkáním po dobu jedné periody PWM signálu a po změření následné zpětné obnovení původních hodnot střidy.

Vypnutí balancování je prováděno z důvodu poklesu napětí na článku baterie při sepnutém stavu balancovacího tranzistoru viz dolní průběh napětí na screenu obrazovky osciloskopu (Obr. 14).

Nabíjecí funkce Charger odpovídá návrhu.



Obr. 14 Screen obrazovky osciloskopu

## 10.6 Výsledky nabíjení

Při konstrukci nabíječky jsem se setkal s problémem, způsobeným diskrétním měřením nabíjecího proudu. Z toho důvodu nebylo možné provést řízení proudu spínaným režimem. Důsledkem je velká výkonová ztráta na tranzistoru, kterou při použití současného chladiče nejsme schopni dostatečně odvádět. Důsledkem je, že v současné době je nabíječka schopna nabíjet maximálním proudem 2 A. Balancování je prováděno proudem 700 mA. Za těchto podmínek nabíječka nabije baterii za 2 hodiny.

Byl také měřen proudový odběr v neaktivním stavu, tekoucí odporovými děliči měřících obvodů připojených přes servisní konektor k baterii. Naměřený proud je  $700\text{ }\mu\text{A}$ . Vybíjení balancerem tedy zhruba odpovídá samovybíjení baterie. S tímto faktorem je potřeba při skladování počítat a nejlépe servisní konektor odpojit.



## 11 Závěr

Nastudoval jsem dobíjecí zdroje energie, metody nabíjení Ni-MH a Li-Pol baterií a jejich balancování. Provedl jsem návrh nabíjecího modulu a jeho zapojení, odleptání a osazení plošného spoje a otestoval jsem jeho správnou funkčnost. Vytvořil jsem nabíjecí funkci pro mikrokontroler modulu správy napájení za použití vývojové desky EVB ve školní laboratoři. Za asistence tvůrce modulu správy napájení jsem provedl namontování a připojení nabíjecího modulu do průzkumného vozidla. Výsledek se ukázal jako plně funkční s popsanými omezeními. Pro zvýšení praktické využitelnosti by bylo vhodné dořešit některá slabá místa.

V momentální podobě je nabíječka schopna nabíjet Li-Pol baterii. Pro nabíjení Ni-MH baterie by bylo potřeba místo servisního konektoru připojit odporový dělič a nahrát do procesoru jiný program pro nabíjení.

Z důvodu použití lineárního režimu výkonového tranzistoru řídicího nabíjecí proud, se tranzistor výrazně zahřívá a použitý chladič není schopen teplo dostatečně odvádět. Z tohoto důvodu je v této fázi modul schopen nabíjet proudem do 2 A. Do budoucna by bylo vhodné dodat na modul správy napájení integraci nabíjecího proudu, řízení nabíjecího proudu provádět spínaným režimem tranzistoru a za tranzistorem použít LC filtr pro vyhlazení proudu.

Dále by bylo vhodné nahradit rezistory měřících obvodů balanceru o hodnotách 100 k $\Omega$ , rezistory o hodnotách 330 k $\Omega$ , z důvodu snížení vybíjecího proudu v neaktivním stavu.

## Použitá literatura

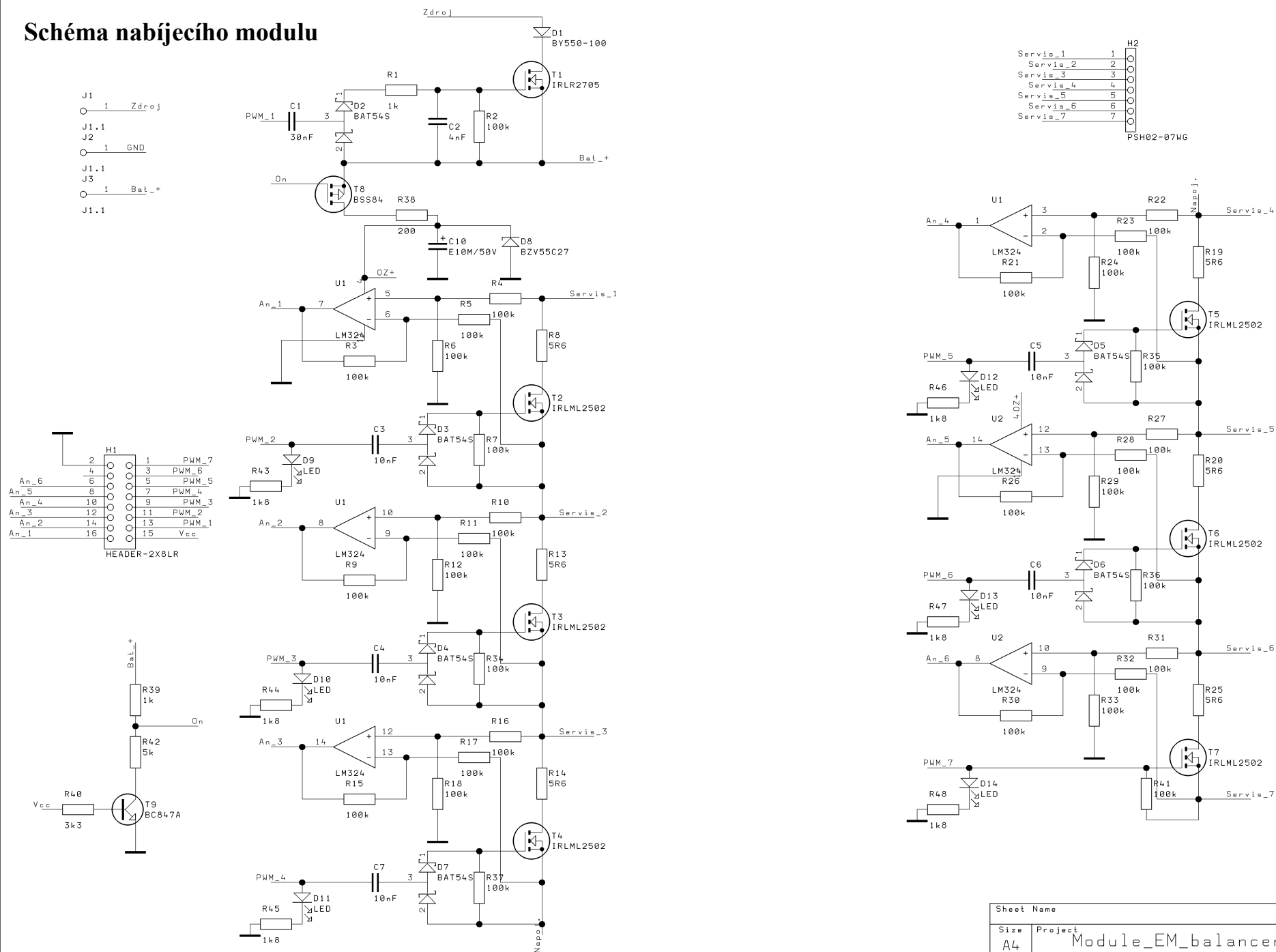
- [1] Ing. MAREK, Jiří, CSC.; STEHLÍK, Luděk. *Hermetické akumulátory v praxi*. Vydání první. Lohenická 111, 190 17 Praha 9 - Vinoř : IN-EL, spol. s r.o., 2004. 140 s. ISBN 80-86230-34-1.
- [2] *Wikipedia* [online]. 12. 2. 2010 [cit. 2010-04-29]. Lithium-železo-fosfátový akumulátor. Dostupné z WWW: <[http://cs.wikipedia.org/wiki/Lithium-%C5%BEelezo-fosf%C3%A1tov%C3%BD\\_akumul%C3%A1tor](http://cs.wikipedia.org/wiki/Lithium-%C5%BEelezo-fosf%C3%A1tov%C3%BD_akumul%C3%A1tor)>.
- [3] *Elektromobily* [online]. 17. 7. 2009 [cit. 2010-04-29]. Alternativní pohony v dopravě. Dostupné z WWW: <<http://www.elektromobily.org/w/images/6/66/AltPohVDopr.ppt>>.
- [4] *Zcu.cz* [online]. 7. 3. 2007 [cit. 2010-04-29]. Akumulátory Lithium-Polymer (Li-pol). Dostupné z WWW: <[http://vyuka.fel.zcu.cz/kae/NSA/Texty/Akum\\_Lipol.pdf](http://vyuka.fel.zcu.cz/kae/NSA/Texty/Akum_Lipol.pdf)>.
- [5] WINKLER, Zbyněk. *Robotika.cz* [online]. 2005-11-10 [cit. 2010-04-29]. Měření rychlosti. Dostupné z WWW: <<http://robotika.cz/guide/filtering/en>>

## Seznam příloh

Schéma nabíjecího modulu .....	I
Rozmístění součástek na plošném spoji .....	II
Seznam součástek nabíjecího modulu .....	III
Vývojový diagram funkce Charger .....	IV
Modul správy napájení .....	VI
Namontovaný nabíjecí modul .....	VII

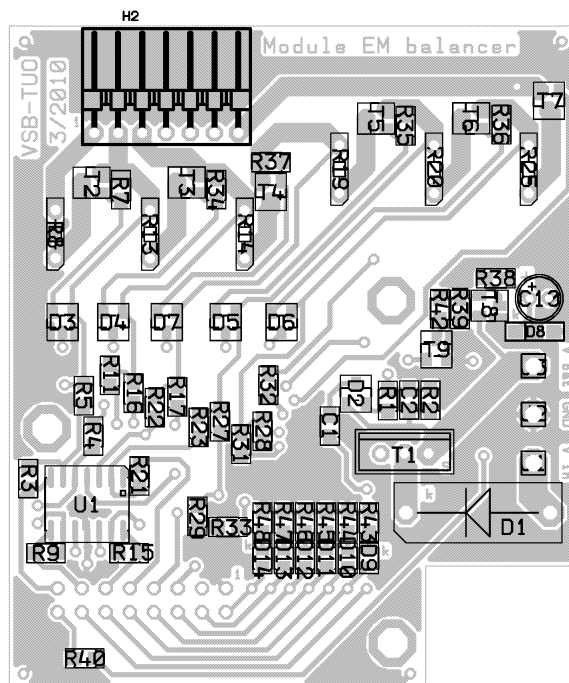
## **PŘÍLOHY**

## Schéma nabíjecího modulu

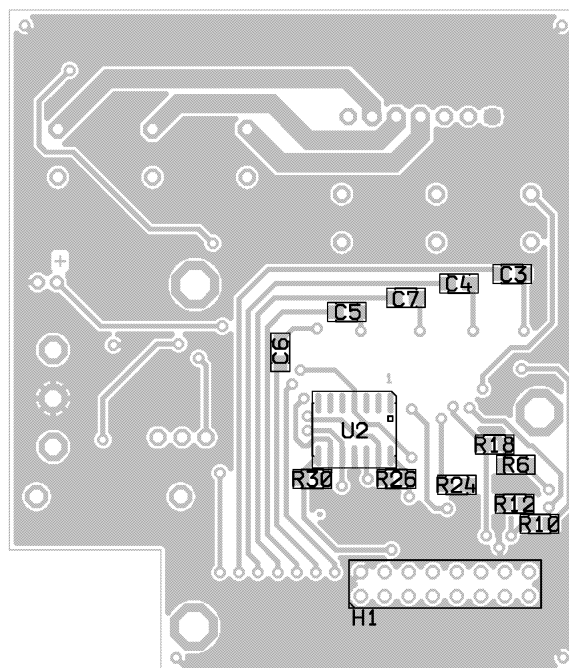


Sheet Name		
Size	Project	REV
A4	Module_EM_balancer	
Date:	0SCH_FILE_DATE	Sheet 1 / 1

## Rozmístění součástek na plošném spoji



**Obr. 15 Rozmístění součástek na horní vrstvě**



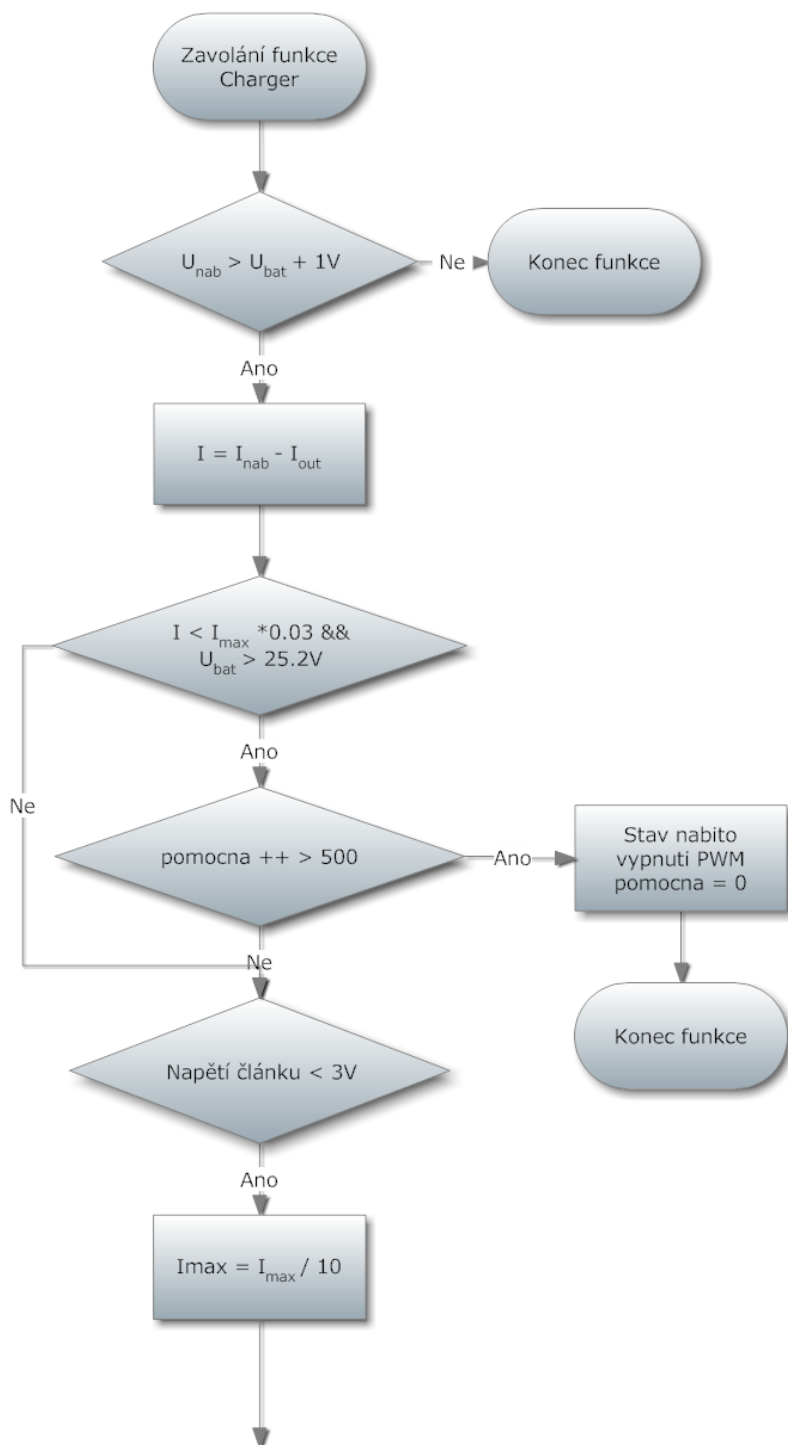
### Obr. 16 Rozmístění součástek na dolní vrstvě

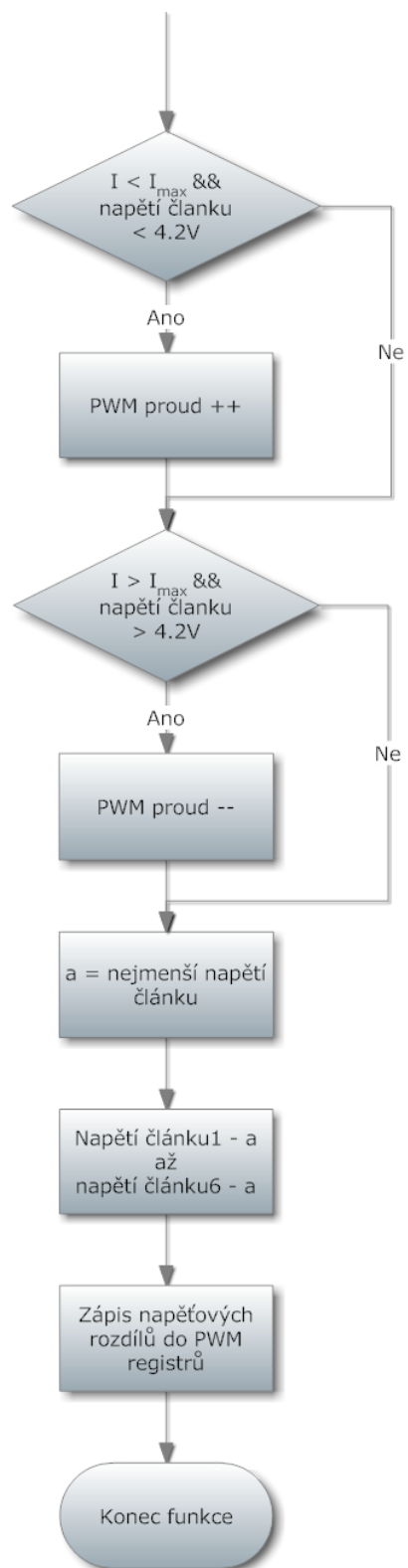
## Seznam součástek nabíjecího modulu

Component List Module\_EM\_balancer (30.4.2010 0:01:09)

Reference	Pcs	Part Name	Value	Note	Package
C1, C3, C4, C5, C6, C7	6	C	10nF		C0805
C2	1	C	4nF		C0805
C10	1	E10M/50V			CR50
D1	1	BY550-100			P2S
D2, D3, D4, D5, D6, D7	6	BAT54S			SOT23
D8	1	BZV55C27			SOD80
D9, D10, D11, D12, D13, D14	6	LED			0805
H1	1	HEADER-2X8LR			S2G8
H2	1	PSH02-07WG			GM_S1G20S-7P
J1, J2, J3	3	J1.1			S1G1
R1, R39	2	R	1k		R0805
R2, R3, R4, R5, R6, R7, R9, R10, R11, R12, R15, R16, R17, R18, R21, R22, R23, R24, R26, R27, R28, R29, R30, R31, R32, R33, R34, R35, R36, R37, R41	31	R	100k		R0805
R8, R13, R14, R19, R20, R25	6	R	5R6		R_5W
R38	1	R	200		R0805
R40	1	R	3k3		R0805
R42	1	R	5k		R0805
R43, R44, R45, R46, R47, R48	6	R	1k8		R0805
T1	1	IRLR2705			TO220V
T2, T3, T4, T5, T6, T7	6	IRLML2502			SOT23
T8	1	BSS84			SOT23
T9	1	BC847A			SOT23
U1, U2	2	LM324			SOP14

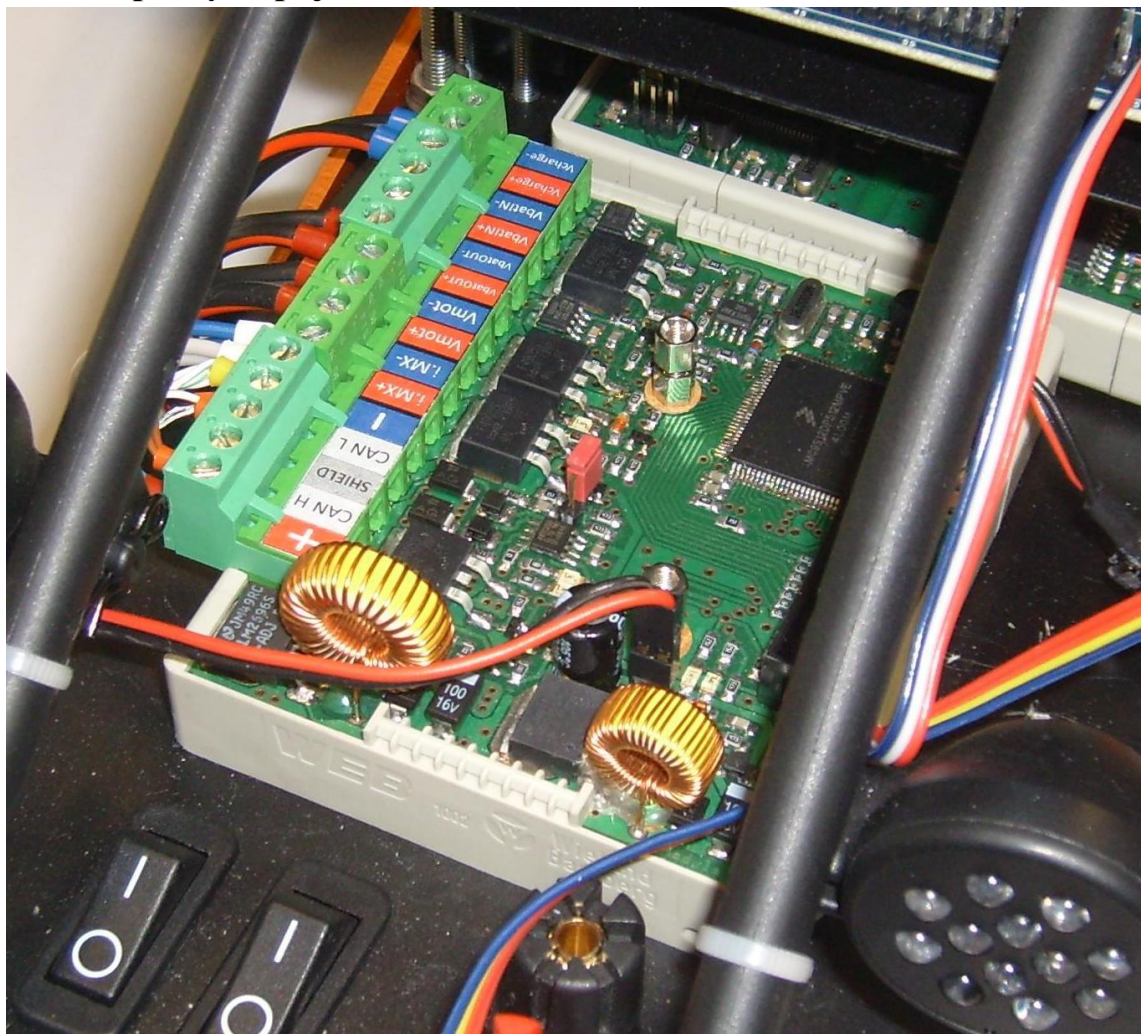
## Vývojový diagram funkce Charger







## Modul správy napájení



## Namontovaný nabíjecí modul

